

ФОРМАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНОГО МНОЖЕСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ОБЪЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Оценка или ряд оценок, определенных на основе существующих процедур, является результатом диагностического тестирования, который позволяет специалисту выносить суждение о состоянии объекта, делать определенный прогноз на будущее и давать те или иные рекомендации, являющиеся основой современных методов упреждающего обслуживания. Процедура преобразования результатов тестирования в диагностических показателях лежит в основе большинства диагностических тестов, хотя известны и более сложные способы компоновки первичной диагностической информации [1].

В работе специалиста по оценке состояния объекта можно выделить три основных этапа.

На первом этапе специалист по диагностике, исходя, главным образом, из теоретических представлений о диагностируемом объекте, формирует "черновой" вариант текста, включающего задания, ответы, отражающие его состояние. Этот этап является трудно формализуемым.

На втором этапе исследователь выбирает диагностическую модель и определяет ее параметры. Под диагностической моделью понимается способ компоновки (преобразования, агрегирования) исходных диагностических признаков (вариантов ответов на задания теста) в диагностический показатель. Первичным материалом для нахождения параметров диагностической модели являются данные экспериментального обследования "черновым" вариантом диагностического теста репрезентативной выборки контролируемых объектов. Результаты обследования сводятся в таблицу экспериментальных данных типа объект – признак. Основными категориями, характеризующими структуру экспериментальных данных и использующимися для определения различными методами параметров диагностической модели, служат категории сходства и различия строк и столбцов (объектов и признаков) таблицы экспериментальных данных. Для определения параметров диагностической модели используются две стратегии эмпирико-статистического анализа данных. Первая стратегия основывается на критерии автоинформативности экспериментальных данных, который подразумевает, что диагностическую модель можно непосредственно определить путем аппроксимации геометрической структуры множества объектов в пространстве исходных признаков, не прибегая к

сведениям об эмпирических (внешних) отношениях исследуемых объектов и опираясь только на числовые отношения сходства и различия объектов и признаков. Хорошо линейную диагностическую модель (линейную аппроксимацию) удастся построить, когда значительная часть исходных признаков отличается высокой взаимосвязанностью (внутренней согласованностью) и остальные признаки не могут конкурировать с этой согласованным влиянием на структуру данных. Если внутренняя согласованность обусловлена отражением требуемого технического конструкта, то параметры линейной диагностической модели (веса признаков) дает метод главных компонент. Если в множество исходных признаков входят несколько групп взаимосвязанных признаков, то одновременно сразу несколько диагностических моделей можно получить, используя метод факторного анализа. Полезные практические результаты дает метод контрастных групп, в котором используется эффект повышения внутренней согласованности "черновой" версии линейной диагностической модели [2]. Вторая стратегия определения параметров диагностической модели основана на привлечении и активном использовании дополнительной обучающей информации о диагностируемом свойстве исследуемых объектов. Критерии, по которым формируется обучающая информация, называются критериями внешней информативности или внешними критериями. Главными представителями методов, опирающихся на внешние критерии, являются методы регрессионного и дискриминантного анализа.

На третьем этапе разработчик теста проводит стандартизацию и испытания построенной диагностической модели.

Рассмотрим основы формирования исходного множества диагностических признаков, соответствующего первому этапу.

Если по своей внешней форме эксперимент укладывается в определенную классификационную схему и сравнительно нетрудно отдать предпочтение тому или иному классу диагностических методик, то выбор конкретного вида стимульных воздействий на объект и алфавита регистрируемых реакций практически ничем не ограничен. В то же время, изучая какой-либо аспект многомерного взаимодействия человека с диагностируемым объектом, нельзя заранее точно предугадать, что выбранное множество стимулов и регистрируемых реакций будет в достаточно полной мере отражать все многообразие проявлений тестируемого свойства и обеспечит инвариантность теста по отношению к широкому кругу посторонних факторов.

Первым шагом является тщательный анализ предмета тестирования, теоретического конструкта, положенного в основу тестируемого свойства, и его взаимоотношений с другими техническими конструктами. Конечным шагом такого анализа должно

быть четкое вербальное определение исследуемого понятия и расчленение его на основные части [2]. Следующим шагом является разработка тестовых заданий. Для этого устанавливается иерархия ранее выделенных частей конкретного объекта. Затем формулируются тестовые задания и для них проводится качественный анализ степени соответствия пропорций представленности элементов измеряемого свойства.

В целом разрабатываемая система исходных признаков должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Полнота описания. Система исходных признаков должна охватывать все выделенные аспекты измеряемого понятия.
2. Экономичность описания. При разработке системы признаков следует избегать излишнего объема исходной информации, который может затруднить дальнейший эмпирико-статистический анализ параметров диагностической модели.
3. Четкая структурированность системы признаков. Признаки должны группироваться, относительно равномерно описывая все стороны измеряемого явления.
4. Количественная определенность отбираемых признаков. Эта определенность требуется для проведения эмпирико-статистического анализа, и признаки должны быть выражены в номинальной, качественной или количественной шкале.

На практике чаще встречается другой подход к решению задачи формирования исходных признаков, в котором признаками выступают элементы известных тестов. Возможно заимствование отдельных элементов у ранее апробированных тестов, составление нового теста из частей известных методик и использование в качестве исходного множества признаков полного набора тестовых заданий многомерных диагностических методик.

Преимущества первого подхода, когда конструируется полностью новый тест, заключается в том, что в нем максимально учитывается специфика конкретной диагностической задачи, находящая свое выражение в более целенаправленном подборе тестовых стимулов, формулировке отдельных вопросов и заданий, использовании терминологии, характерной для изучаемой прикладной области и т.п. В то же время реализация этого подхода сопряжена со значительными усилиями в теоретической проработке как общей концепции теста, так и множества частных деталей. Второй подход не обладает гибкостью первого, но позволяет избежать необходимости решения многих частных проблем, так как опирается на уже апробированную исходную структуру известных тестов. Основанием для его широкого использования служит скрытый потенциал многомерных диагностических тестов, отражающих широкий диапазон различий, который может быть развернут относительно нового контролируемого концепта.

Определив исходное множество признаков, специалист получает "черновой" вариант диагностического теста. Дальнейшая отработка этого варианта основывается на эмпирико-статистическом анализе. Исходным материалом служат результаты экспериментального обследования репрезентативной выборки испытуемых с помощью "чернового" варианта диагностического теста. Из полученных данных формируется двумерная таблица экспериментальных данных (ТЭД). В таблице 1: N – общее количество объектов (испытуемых); p – общее количество признаков; x_j – "j"-й признак (в дальнейшем наряду с термином "признак" будут употребляться также термины "показатель" и "переменная"); x_{ij} – значение "j"-го признака, измеренное у "i"-го объекта.

Таблица 1 – Таблица экспериментальных данных

Объект (испытуемый)	Исходные признаки					
	x_1	x_2	...	x_j	...	x_p
x_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1p}
x_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2p}
...
x_i	x_{i1}	x_{i2}	...	x_{ij}	...	x_{ip}
...
x_N	x_{N1}	x_{N2}	...	x_{Nj}	...	x_{Np}

В соответствии с данной символикой приняты также обозначения: $x = (x_1, \dots, x_p)'$ – вектор признаков (знак "(" означает транспонирование); $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ip})'$ – "i"-й объект; $X = (x_i)$ – множество объектов.

Особенностью диагностических экспериментальных данных является то, что исходные признаки x_j , как правило, измерены в номинальных и порядковых (ординальных) шкалах.

В теории измерений номинальные шкалы считаются простейшими и самыми "бедными". Если обозначить числами возможные варианты реакции испытуемого объекта на тестовые задания, то эти числа будут иметь смысл только абстрактных символов, обозначающих каждый вариант ответов, и никакие другие отношения между указанными числами, кроме их равенства, значения не имеют. При сравнении двух испытуемых по признаку, измеренному в номинальной шкале, можно сделать единственный вывод о совпадении или несовпадении значения признака. Поэтому при анализе таких признаков каждую отметку номинальной шкалы считают отдельным самостоятельным

признаком. Он принимает всего два значения: А и В, и разность (А – В) уже может интерпретироваться как степень важности несовпадения данного признака при сравнении двух объектов. Чаще всего применяют значения: А = 0 и В = 1, то есть признак равен либо 0, либо 1, а степень важности признака x_i задается весом w_i , на который умножается x_i . Процедура преобразования исходных показателей в набор признаков с двумя градациями носит название дихотомизации. После ее проведения номинальные измерения становятся доступны для применения широкого спектра различных методов многомерного количественного анализа с учетом специфики данного вида измерений.

Иногда в качестве исходных признаков для построения нового диагностического показателя используются значения различных шкал и факторов, которые с очень большой осторожностью следует относить к количественным измерениям. Для ординальных признаков существенен лишь порядок градаций на шкале и считаются допустимыми любые монотонные преобразования, не нарушающие этот порядок. Методологически строгим является применение к ординальным признакам методов обработки, результат которых инвариантен относительно допустимых преобразований порядковой шкалы. Поэтому количественный анализ ординальных переменных, как и дихотомических, имеет свою специфику.

Описанные выше особенности экспериментальных данных в диагностике следует учитывать при выборе диагностической модели и методов эмпирико-статистической оценки ее параметров. В диагностической модели должна в определенной форме выражаться связь измеряемого вектора признаков x с тестируемым свойством, которое в дальнейшем будет обозначаться как y , т.е. должен быть раскрыт механизм преобразования: $y = y(x)$. Первое требование, предъявляемое к математической модели, – это необходимое требование к конечному результату, который обязан быть максимально точным и надежным. Второе требование – лаконичность и интерпретируемость способа получения конечного результата. Указанные требования находятся в тесной взаимосвязи. Чем более экономно по форме и содержательно по смыслу преобразование $y = y(x)$ при соблюдении заданной точности модели, тем более общие закономерности структуры экспериментальных данных вскрывает используемая модель и, значит, тем более устойчива и надежна количественная оценка диагностируемого показателя, получаемая с помощью преобразования $y(x)$.

Структура экспериментальных данных, особенности которой для решаемой диагностической задачи описывает математическая модель, отражается посредством двух основных категорий взаимоотношений между элементами ТЭД – категорий сходства и

различия. Сходство и различие объектов ТЭД определяется мерами близости (удаления), а признаков – мерами связи.

Матрица связи задает отношение "признак-признак" и представляет собой двумерную симметричную квадратную матрицу размера $p \times p$:

$$S = \begin{pmatrix} s_{11}, \dots, s_{1p} \\ s_{21}, \dots, s_{2p} \\ \dots & \dots & \dots \\ s_{p1}, \dots, s_{pp} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где s_{ij} – мера связи между признаками x_i и x_j .

Применение к одним и тем же данным различных мер связи нередко приводит к отличающимся результатам. Это обусловлено тем, что математики, конструировавшие коэффициенты корреляции, как правило, исследовали их свойства в предельных ситуациях – около 0 или 1. Поведение же различных мер связи внутри интервала $[0, 1]$ изучено сравнительно мало. Поэтому на практике непросто обосновать предпочтительный выбор какой-либо меры связи, а результаты использования разных мер трудно сравнить. В качестве рекомендации предлагается таблица 2, в которую сведены наиболее часто употребляемые меры связи для признаков разного типа.

Таблица 2 – Рекомендуемые меры связи между различными типами признаков

Тип признака	Тип признака		
	Дихотомический	Ординальный	Количественный
Дихотомический (бинарная шкала)	1. Коэффициент φ (Пирсона) 2. Тетрахорический коэффициент корреляции (r_{tet})	1. Ранго-бисериальный коэффициент корреляции Кергена и Гласса (r_{rb})	1. Точечный бисериальный коэффициент корреляции (r_{rb}) 2. Бисериальный коэффициент корреляции (r_{bis})
Ординальный (шкала порядка)		1. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена 2. Тау Кендалла (τ)	1. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r_s) 2. Тау Кендалла (τ)
Количественный (шкала интервалов или отношений)			Коэффициент корреляции Пирсона (r_j)

Представление информации о структуре экспериментальных данных посредством матриц связей признаков S и близостей (удаленностей) объектов D служит промежуточным звеном в процессе построения диагностических моделей различного типа. Различают две основные стратегии определения параметров диагностических

В *первой* из них для построения диагностической модели требуется привлечение дополнительной информации, кроме той, которая непосредственно содержится в исходной ТЭД. Эту дополнительную информацию называют обучающей, и ее несут сведения об эмпирических отношениях между объектами исследования, полученные тем или иным способом. Обучающая информация формируется по так называемым критериям внешней информативности или, иными словами, внешним критериям. Данная информация представляется в различных формах. Это может быть привязка к объектам значений "зависимой" переменной, измеренной в количественной шкале; номер одно-родного по тестируемому свойству класса; порядковый номер (ранг) объекта x , в ряду всех объектов, упорядоченных по степени проявления диагностируемого свойства, и, наконец, совокупности значений набор внешних (не включенных в анализируемую ТЭД) признаков, характеризующих тестируемый феномен. При использовании обучающей информации объекты в исходном пространстве признаков в соответствии с внешним критерием как бы "окрашиваются в разнообразные цвета", что позволяет более целенаправленно находить способы преобразования исходных признаков в результирующей диагностический показатель. Методы, основанные на применении внешних критериев, составляют *вторую* стратегию определения параметров диагностических моделей.

В зависимости от совпадения критериев автоинформативности с критериями внешней информативности методы первой и второй стратегии могут приводить к сходным результатам. В то же время эти результаты в значительной мере зависят от того, с помощью каких преобразований раскрывается информационный потенциал исходных экспериментальных данных.

В диагностике сложных объектов превалируют линейные модели, в которых результирующий показатель представляется в виде взвешенной суммы исходных признаков

$$y(x) = w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_p x_p. \quad (2)$$

Распространенность линейных моделей объясняется прежде всего их наибольшей простотой, понятностью и "удоборешаемостью", позволяющей, в частности, вручную обрабатывать результаты тестирования, а также удобством рассмотрения геометрических иллюстраций вычисления результирующего показателя.

Библиографический список

1. Кузнецов П.И., Пчелинцев Л.А., Гайденок В.С.. Контроль и поиск неисправностей в сложных системах. – М.: Советское радио, 1969.
2. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. – М.: Мир, 1977.