DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-28-40
УДК 519.7

БАЗИСНЫЕ КЛАССИФИКАТОРЫ ФОРМАЛЬНОЙ ТЕОРИИ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ИЕРАРХИИ, ВЕКТОРЫ И МАТРИЦЫ, ЛЕНТЫ

Н. В. Федорова

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова,
Новочеркасск, Ростовская обл., Российская Федерация*

Для обеспечения функционирования и развития технической системы важно определить ее место в ряду других технических систем, провести классификацию объектов, субъектов, процессов технических и связанных с ними систем. Ранее автором были представлены основы формальной теории классификации. В данной работе рассмотрено описание базисных классификаторов и операций с ними. Выделено три типа базисных классификаций: дискретные иерархические, дискретные матричные и непрерывные ленточные. Для них определены понятие, структура, размерность, основные операции (сложение, умножение, равенство). В иерархии классификационные признаки можно упорядочить по соподчиненности, классификационные признаки низших уровней иерархии детализируют признаки более высоких уровней. Размерность иерархической классификации – это количество уровней классификационных признаков. Матричные (включая векторные и сверхматричные) классификации применяют, когда классификационные признаки равноправны, а их значения дискретны. Ленточные классификации по структуре похожи на матричные, но значением классификационного признака является интервал чисел, для которого определены нижняя и верхняя границы. Размерность матричной и ленточной классификаций равна количеству несоподчиненных классификационных признаков. Для всех классификаций умножение равносильно введению новых классификационных признаков, сложение – введению новых значений уже имеющихся классификационных признаков. Единый подход к различным видам классификаций дает возможность планировать структуру классификаций специфических технических систем с учетом свойств характерных параметров.

Ключевые слова: технические системы, классификация, формальная теория, энергетические объекты, классификационный признак, область интерпретации, диапазон значений.

Для цитирования: *Федорова Н. В.* Базисные классификаторы формальной теории классификации технических систем: иерархии, векторы и матрицы, ленты // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 3. С. 28–40. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-28-40.

Введение

Для обеспечения функционирования и развития технической системы важно определить ее место в ряду других технических систем, провести классификацию объектов, субъектов, процессов технических и связанных с ними систем.

Формальная теория классификации технических систем построена с учетом современного опыта классификации. Классификаторы можно разделить на 3 вида: элементарные, базисные и сложные. В данной работе будут рассмотрены базисные классификаторы и операции с ними.

Была поставлена задача: на основе анализа теоретических положений и практического опыта применения разработать структуру и описать свойства базисных классификаторов – дискретных иерархических, дискретных матричных (включая векторные и сверхматричные), непрерывных ленточных; рассмотреть возможные операции по расширению и сужению этих классификаторов (с сохранением вида классификатора); изучить свойства операций с классификаторами; обобщить полученные результаты с применением аппарата формальной теории; с учетом специфики классификационных признаков рассмотреть возможные сферы предпочтительного использования конкретных видов классификаторов.

Общее понятие базисных классификаторов

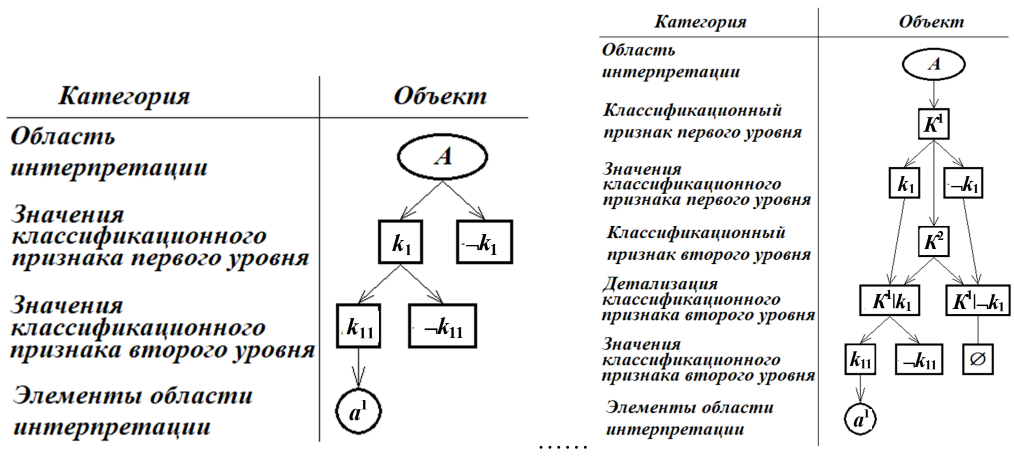
В базисных классификаторах отражены принципы подходов к классификации технических систем. Их нельзя представить в виде комбинации более простых классификаторов, за исключением элементарных. Их нельзя выразить через другие базисные классификаторы, за исключением вырожденных случаев единичной размерности, т. е. базисные классификаторы независимы.

На основании различных материалов, имеющих отношение к объектам энергетики, был сделан вывод о наличии трех типов базисных классификаторов: иерархических дискретных *Ir*, матричных дискретных *Mt* (включая векторные *Vt* и сверхматричные *CMt*) и ленточных непрерывных *Lt*. Иерархические и матричные классификаторы широко распространены в различных сферах деятельности. Ленточные классификаторы как отдельный вид классификации, основанный на классификационных признаках непрерывной природы, ранее не рассматривался, несмотря на то, что данные признаки широко используются в описании технических систем.

Актуальность предлагаемого в данной работе подхода обусловлена необходимостью исследования и теоретической обработки всех используемых в современной практике способов классификации технических систем. Научная новизна и теоретическая значимость проделанной работы заключается в описании структуры и свойств базисных классификаторов и простейших операций с классификаторами с позиции формальной теории. Результаты данной работы могут быть использованы при проведении классификации и кодирования материальных объектов и процессов, планировании и описании номенклатуры изделий, при разработке алгоритмов маркировки и выбора, а также алгоритмов изменения баз данных с учетом структуры классификаторов, что обусловливает практическую значимость работы.

Дискретные базисные классификаторы: иерархии

Понятие, структура, размерность иерархической классификации. *Иерархия* (*Ir*) предполагает, что классификационные признаки можно упорядочить по соподчиненности, классификационные признаки низших уровней иерархии детализируют признаки более высоких уровней. Простейшая полная иерархия, примененная к области интерпретации, состоящей из одного элемента, представлена на рис. 1.



а *б*

Рис. 1. Простейшая невырожденная двухуровневая иерархия:
а – сокращенная схема; *б* – развернутая схема

Ее ядро можно описать формулой $\mathrm{Ker}(Ir) = K^1 \otimes K^2 = K^1(k_1, \neg k_1) \otimes K^2((k_{11}, \neg k_{11}); 0) = (k_1 \wedge (k_{11} \vee \neg k_{11})) \vee \neg k_1$. Отметим, что $(k_1 \wedge (k_{11} \vee \neg k_{11})) \vee \neg k_1 \equiv 1$. Движение в иерархии по горизонтали соответствует операции «или» ($\vee$), движение в иерархии по вертикали соответствует операции «и» ($\wedge$).

Размерностью иерархической классификации (dim, от англ. dimension – размерность) полагаем количество уровней классификационных признаков. Элементарные классификаторы соответствуют одноуровневой (вырожденной) иерархии. Расширенной размерностью иерархической классификации (extdim, от англ. extended dimension – расширенная размерность) будем называть заключенный в скобки упорядоченный набор чисел, соответствующих количеству значений классификационных признаков на каждом уровне иерархии, где уровни отделены друг от друга скобками и запятыми (или точками с запятыми), а числа одного уровня – запятыми. Отсутствию подвидов соответствует число 0. Для рис. 1 dim(Ir) = 2, extdim(Ir) = ((2), (2, 0)), для рис. 2 extdim($Ir1 \oplus Ir2$) = ((3), (2, 2, 0)).

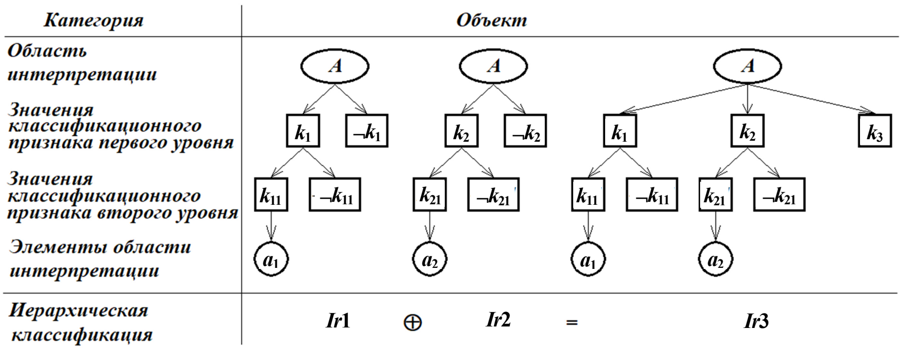


Рис. 2. Сложение иерархий

Количество классов, на которые можно разделить область интерпретации с помощью полного иерархического классификатора, равно суммарному количеству значений классификационных признаков всех уровней. Количество непересекающихся классов равно количеству значений классификационных признаков, не имеющих деления на подклассы. Эти значения, которые назовем предельными, могут располагаться на различных уровнях иерархии. Для простейшей иерархии, представленной на рис. 1, всего классов 4, предельных классов 3.

Операции над иерархическими классификациями: сложение, умножение, сравнение. *Сложение* иерархий производим, наращивая иерархию «по горизонтали» и обозначаем символом ⊕, *умножение* наращивает иерархию «по вертикали» и обозначается символом ⊗. Для классификаторов различных типов сложение и умножение реализуются различным образом. Если необходимо подчеркнуть тип классификатора, используем обозначения ⊕|Ir и ⊗|Ir для иерархических классификаций, ⊕|Mt и ⊗|Mt для матричных классификаций и т. п. При сложении и умножении количество классификационных признаков и их значений не уменьшается, содержание значения признака «иное» меняется. Классификационные признаки складываемых иерархий и их значения могут частично совпадать, такие значения не добавляются повторно, не дублируются. Простейший случай сложения двухуровневых иерархий представлен на рис. 2. Пример умножения одноуровневых иерархий с получением двухуровневой представлен на рис. 3.

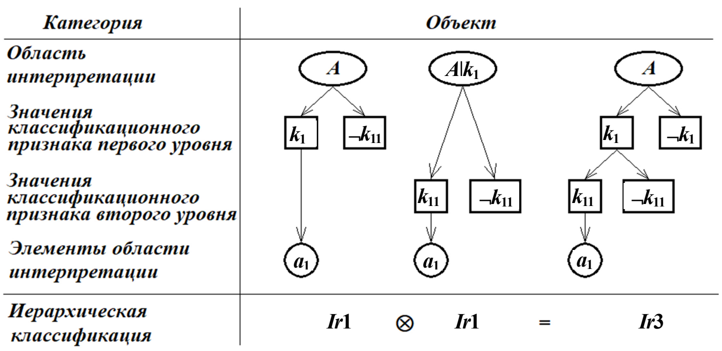


Рис. 3. Умножение одноуровневых (вырожденных) иерархий

Для иерархии классификационный признак – это уровень иерархии. Значения классификационного признака полной иерархии образуют полное множество. Если зафиксировано только одно значение k_1, оно дополняется значением не-k_1 ($\neg k_1$). Если зафиксированы два содержательных значения k_1 и k_2, причем $k_2 \neq \neg k_1$, но могут существовать иные содержательные значения, такой набор дополняется значением $k_3 = (\neg k_1)\wedge(\neg k_2)$. При сложении иерархий $Ir1$ и $Ir2$, включающих классификационный признак K, если для иерархии $Ir1$ этот признак имел значения $k_1^1, k_2^1, \ldots, k_p^1$, для иерархии $Ir2$ значения $k_1^2, k_2^2, \ldots, k_q^2$, для иерархии $Ir3 = Ir1 \oplus Ir2$ значения $k_1^3, k_2^3, \ldots, k_r^3$, где p, q, r – число значений классификационного признака в иерархиях $Ir1$, $Ir2$, и $Ir3$ соответственно, то $\max\{p, q\} \leq r \leq p + q - 1$ и $r = p + q - 1$ тогда и только тогда, когда все содержательные значения классификационного признака в иерархиях $Ir1$ и $Ir2$ различны. С другой стороны, если $\dim(Ir1) = m$, $\dim(Ir2) = n$, то $R = \dim(Ir3) = \dim(Ir1 \oplus Ir2) = \max(m, n)$. $Ir1 \oplus Ir1 = Ir1$. Сложение иерархий коммутативно, если $\dim(Ir1) = \dim(Ir2)$, и ассоциативно, если $\dim(Ir1) = \dim(Ir2) = \dim(Ir3)$, с точностью до перестановки значений классификационных признаков на одном уровне. В общем случае $\dim(Ir1) \geq \dim(Ir2) \geq \dim(Ir3) \geq 1$.

Алгоритм сложения (полных) иерархий: 1 этап – определяем размерность R суммарной иерархии; 2 этап – объединяем содержательные значения признака первого уровня складываемых иерархий, исключаем дублирование, дополняем признаком «иное» первого уровня; 3 этап – для каждого содержательного значения признака первого уровня объединяем соответствующие ему содержательные значения признака второго уровня, исключаем дублирование, дополняем признаком «иное» второго уровня, соответствующим данному значению признака первого уровня, и т. д., до исчерпания уровней классификационных признаков, всего $R + 1$ этап.

Умножаться могут иерархии, одна из которых «подчинена» другой и детализирует ее классификационные признаки (см. рис. 3). Умножение иерархий заключается во введении в первую из умножаемых иерархий одного или более новых классификационных признаков низших уровней с соответствующими наборами значений, которые могут быть использованы для детализации *определенных* значений классификационных признаков более высоких уровней. При этом по совпадающим классификационным признакам проводится операция сложения. В результате умножения могут быть введены как новые низшие уровни (см. рис. 3), так и промежуточные (рис. 4).

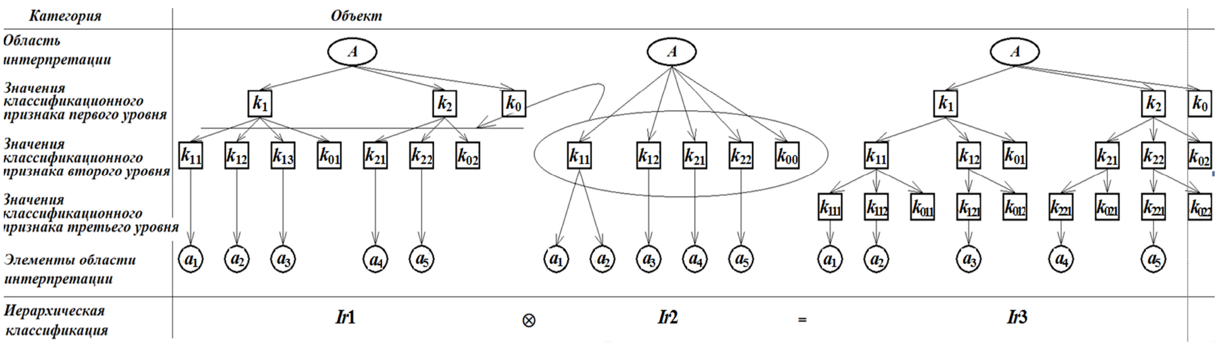


Рис. 4. Умножение иерархий с введением промежуточного уровня

Если старший классификационный признак, вводимый вторым сомножителем, в произведении будет иметь номер i, это можно отметить: $Ir3 = Ir1 \otimes|_i Ir2$ (для рис. 3 и рис. 4 $i = 2$). Умножение иерархий некоммутативно, ассоциативно и дистрибутивно по сложению иерархий с точностью до перестановки значений классификационных признаков.

Могут быть введены операции *вычитания* (обратная сложению) и *деления* (обратная умножению) иерархий. Вычитание заключается в удалении отдельных значений классификационных признаков с отнесением соответствующих им элементов области интерпретации к значению «иное» той же группы значений (того же уровня). Деление заключается в удалении классификационного признака в целом и сокращении количества уровней иерархии, содержание признаков «иное» при делении меняется. Полагаем недопустимым вычитать все содержательные значения признака одного подкласса или удалять все уровни иерархии.

Будем говорить, что иерархия $Ir2$ *формально равна* иерархии $Ir1$ ($Ir2 =|_{form} Ir1$), если между элементами их ядер можно установить взаимно однозначное соответствие с учетом структуры связей по уровням иерархий безотносительно содержания классификационных признаков, конкретных значений признаков и контекста области интерпретации. Иерархия $Ir2$ *фактически равна* иерархии $Ir1$ ($Ir2 =|_{act} Ir1$), если соответствующие друг другу классификационные признаки и их значения равны (от англ. *formally* – формально, *actually* – фактически). На рис. 3 иерархия $Ir2$ формально равна иерархии $Ir1$, но фактически не равна. $Ir2 =|_{act} Ir1 \Rightarrow Ir2 =|_{form} Ir1$.

Формализованные свойства иерархической классификации. Классификационные признаки (уровни) иерархий зависимы так, что признак низшего уровня детализирует ближайший к нему признак высшего уровня. Значения классификационных признаков независимы по горизонтали, но каждое значение детализируют одно определенное значение ближайшего верхнего уровня.

Теорема 1 (Ir). Если элемент области интерпретации удовлетворяет классификационному признаку некоторого подкласса низкого уровня иерархии, то он удовлетворяет и признаку объемлющего его класса более высокого уровня иерархии.

Теорема 2 (Ir). Введение новых содержательных значений классификационных признаков не меняет классификацию области интерпретации по ранее введенным содержательным значениям, а может лишь изменить отнесение элементов к значению «иное».

Теорема 3 (Ir). Значение несодержательного классификационного признака «иное» на любом уровне иерархии является предельным и не допускает деления на подклассы на более низком уровне иерархии.

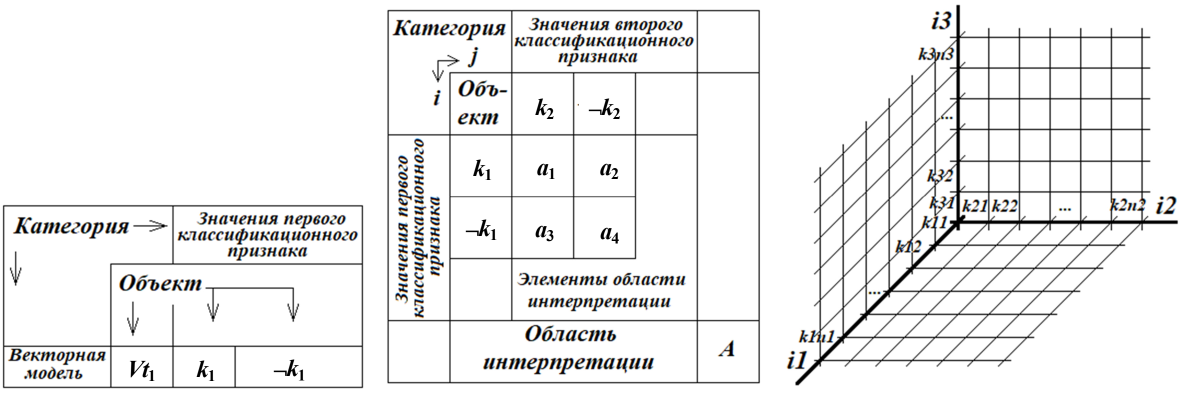
Если класс «иное» уровня i можно разбить на n подклассов, $n \geq 2$, значит, на уровне $(i + 1)$ можно выделить по крайней мере еще одно содержательное значение классификационного признака, которому дать определение, отграничивающее его от других значений. Подобным образом можно отделить значение признака и соответствующий ему подкласс от класса «иное» уровня i.

Сфера применения иерархических классификаторов. Иерархические классификации находят применение там, где классификационные признаки имеют качественную природу, при этом существует необходимость и возможность детализации их значений [1–3]. Иерархии видов оборудования имеют небольшое количество уровней, а далее становятся основой разработки иерархо-матричной классификации, поскольку значительная часть характеристик оборудования несоподчинены. Иерархии применимы при структурировании документации, описывающей технические системы. Социальную иерархию образуют персонал энергетических объектов (ТЭС, АЭС), структуры управления. Технологическую иерархию составляют крупные и малые энергетические системы и комплексы.

Дискретные базисные классификаторы: векторы, матрицы, сверхматрицы (тензоры)

Понятие, структура, размерность матричной классификации. Если некоторый объект может быть охарактеризован более чем одним признаком, но эти признаки равноправны, не являются соподчиненными один другому, то классификация не может быть описана иерархической моделью. Если признаки имеют дискретную природу (принцип действия непрерывный/периодический, движение теплоносителей прямоток/противоток/перекрестный ток, вид топлива уголь/газ/мазут, система водоснабжения открытая/замкнутая и т. п.), то может быть применена матричная классификация. Если признаки имеют непрерывную природу и задаются диапазоном значений (рабочие диапазоны температур, давлений, регулировочный диапазон мощности энергоблока и т. п.), то применима ленточная модель. В математике матрица M размерности $m \times n$ – это таблица чисел, состоящая из m строк и n столбцов. Неполный элементарный классификатор – это скаляр, матрица размерности 1×1, полный элементарный классификатор – вектор-строка размерности 1×2. Элементарные классификаторы являются зародышами как матричной, так и векторной дискретных классификаций.

Если классификация описывается одним классификационным признаком, имеющим одно или более содержательных значений, такой классификации соответствует векторная модель (Vt) (рис. 5, *а*).



а *б* *в*

Рис. 5. Примеры матричных классификаций:
а – простейшая матричная классификация первого порядка (векторная);
б – простейшая матричная классификация второго порядка;
в – ядро матричной классификации третьего порядка (сверхматричной)

Векторную классификацию можно рассматривать как иерархическую с одним уровнем иерархии признаков, т. е. предельный, вырожденный случай. Векторная классификация – также предельный случай матричной, когда количество строк или столбцов матрицы равно 1.

Матричная классификация (*Mt*) применима, когда имеется ровно 2 несоподчиненных классификационных признака, каждый из которых имеет по крайней мере одно содержательное значение, без подклассов (рис. 5, *б*). Ядро простейшей матричной классификации, представленной на рис. 5, *а*, описывает формула Ker(*Mt*) = *K*1 (*k*1; ¬*k*1) ⊗|*Mt* *K*2 (*k*2; ¬*k*2). Матричные модели можно наглядно представить на плоскости, однако двух классификационных признаков может оказаться недостаточно. Тогда для классификации могут использоваться модели, названные в данной работе сверхматричными (тензорными). Сверхматричная модель (*CMt*) применима, когда имеется 3 или более несоподчиненных классификационных признака (рис. 5, *в*).

Если нет необходимости в конкретизации, будем называть векторные, матричные и сверхматричные классификации *матричными*. *Размерность матричной классификации* равна количеству задающих ее признаков. Векторная классификация *Vt* имеет размерность 1, матричная *Mt* – размерность 2, сверхматричная *CMt* – размерность 3 и более. *Расширенная размерность* записывается как произведение количества значений, соответствующих классификационным признакам. Расширенная размерность векторной классификации равна количеству значений классификационного признака. Матрица размерности 2, имеющая m строк и n столбцов, имеет расширенную размерность $m \times n$. Сверхматричная классификация размерности n имеет расширенную размерность $n_1 \times n_2 \times \ldots \times n_n$, $n \geq 3$, n_i – число значений i-го классификационного признака. Для рис. 5, *а* dim(*Mt*) = 2, extdim(*M*) = 2 × 2; для рис. 5, *б* dim(*CMt*) = 3, extdim(*CMt*) = $n_1 \times n_2 \times n_3$.

Количество классов *KL*, на которые можно разбить область интерпретации, для векторной классификации *Vt* равно количеству значений классификационного признака, т. е. расширенной размерности, минимум 2, все классы предельные. Для матричной классификации *Mt* размерности dim(*Mt*) = 2, расширенной размерности extdim(*Mt*) = $m \times n$, общее количество классов $KL\Sigma = m + n + m \times n$, из них предельных классов $KL\text{Lim} = m \times n$, минимум количества предельных классов 2 × 2 = 4. Для сверхматричной классификации *CMt*, для которой dim(*CMt*) = n, extdim(*CMt*) = $l_1 \times l_2 \times \ldots \times 1_n$, имеем: $KL\Sigma = \sum_{i=1}^{n} l_i + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} l_i \times l_j + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} l_i \times l_j \times l_k + \ldots + \prod_{i=1}^{n} l_i$,

$KL\text{Lim} = \prod_{i=1}^{n} l_i$, минимум количества предельных классов 2^n.

Операции над матричными классификациями: сложение, умножение, сравнение. Будем понимать под *суммой* матричных классификаций (включая векторные и сверхматричные) расширение классификации «вширь» путем увеличения количества значений классификационных признаков (рис. 6, 7).

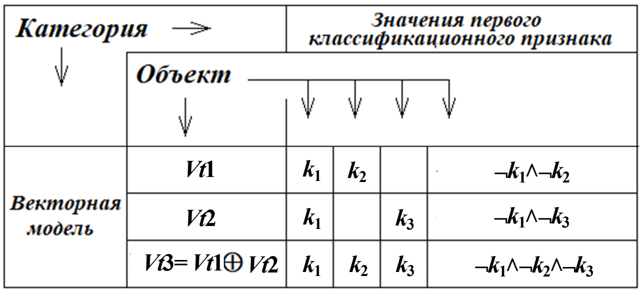


Рис. 6. Пример сложения векторных классификаций

Рис. 7. Пример сложения матричных классификаций

Складываться могут только матрицы с одинаковым набором признаков. При этом часть значений признаков в суммируемых матрицах может изначально совпадать, такие значения не дублируются. Значение признака «иное» при переходе к сумме или произведению меняется. Если $Mt3 = Mt1 \oplus Mt2$, K – один из классификационных признаков матричных классификаций $Mt1$, $Mt2$, $Mt3$, которому в $Mt1$ соответствует n_1 значений, в $Mt2$ – n_2, в $Mt3$ – n_3 значения, то, аналогично иерархическим классификациям, $\max\{n_1, n_2\} \le n_3 \le n_1 + n_2 - 1$; $n_3 = n_1 + n_2 - 1$ тогда и только тогда, когда все значения признака K в матричных классификациях $Mt1$ и $Mt2$ различны; $Mt1 \oplus Mt1 = Mt1$. Сложение матричных классификаций коммутативно и ассоциативно с точностью до перестановки значений классификационных признаков. Будем понимать под *произведением* матричных классификаций (включая векторные и сверхматричные) расширение классификации «вглубь» путем увеличения количества классификационных признаков (рис. 8).

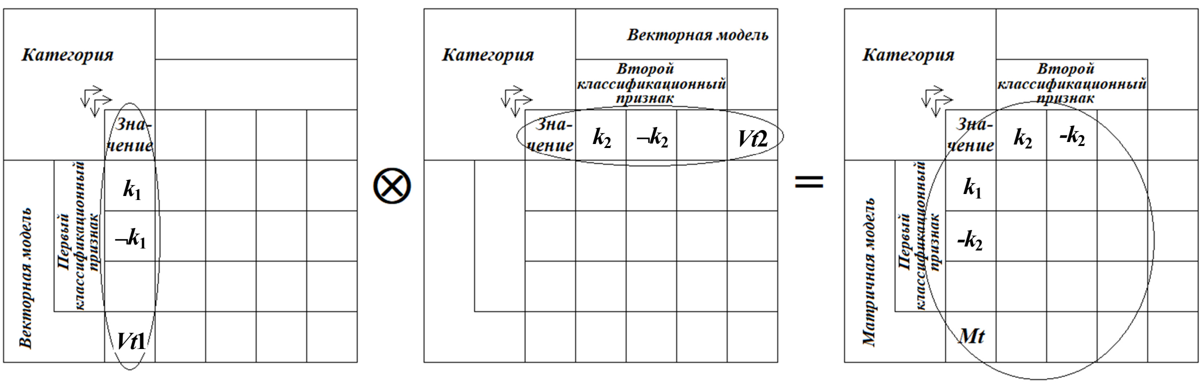


Рис. 8. Пример умножения векторных классификаций с получением матричной

В невырожденном случае в каждой из перемножаемых классификаций имеется по крайней мере один классификационный признак, отсутствующий в других классификациях – сомножителях. Если все классификационные признаки перемножаемых классификаций различны, то размерность произведения равна сумме размерностей сомножителей. Если классификационные признаки перемножаемых классификаций частично совпадают, то совпадающие признаки не дублируются в произведении, но их значения объединяются, как при сложении. Умножение матричных классификаций коммутативно, ассоциативно и дистрибутивно по сложению с точностью до перестановки классификационных признаков и их значений.

Вычитание матричных классификаций – операция, обратная сложению. Она равносильна удалению из «уменьшаемой» классификации значений классификационных признаков, присутствующих в «вычитаемой» классификации, с отнесением соответствующих им элементов области интерпретации к значению «иное» признака, по которому выполняется вычитание.

Деление матричных классификаций – операция, обратная умножению. В невырожденном случае она равносильна удалению из «делимого» классификационных признаков «делителя». Полагаем недопустимым вычитать все содержательные значения одного признака или удалять все признаки.

Если две матричные классификации $Mt1$ и $Mt2$, независимо от их размерности, имеют один общий классификационный признак K, то можно рассматривать *равенство матричных классификаций* по этому признаку на основании анализа множеств значений этого признака $K|Mt1 = \{k_{11}, k_{12}, \ldots, k_1n_1\}$ и $K|Mt2 = \{k_{21}, k_{22}, \ldots, k_2n_2\}$ в теоретико-множественном смысле. В частности, если $K|Mt1 \subset K|Mt2$, то матричная классификация $Mt1$ строго вложена в матричную классификацию $Mt2$ по классификационному признаку K. $(K|Mt1 \subseteq K|Mt2) \wedge (K|Mt2 \subseteq K|Mt1) \Rightarrow Mt1 =|K\ Mt2$. Матричные классификации равны, если их ядра составлены одинаковыми наборами классификационных признаков и классификации равны по каждому из этих признаков.

Формализованные свойства матричной классификации. Некоторые классификационные признаки матричной классификации могут быть зависимы друг от друга (но не детализировать один другого), что делает количество признаков избыточным. При этом в силу дискретности значения одного классификационного признака независимы.

Теорема 1 (Mt). Удаление или введение новых классификационных признаков матричной классификации не меняет классификацию области интерпретации по другим классификационным признакам.

Теорема 2 (Mt). Удаление или введение новых содержательных значений классификационных признаков матричной классификации не меняет классификацию области интерпретации по другим содержательным значениям, а меняет лишь наполнение значения признака «иное».

Теорема 3 (Mt). Матричная классификация по каждому из классификационных признаков проводится независимо от классификации по другим признакам в том и только том случае, если эти признаки независимы.

Сфера применения матричных классификаторов. Матричные классификации широко применимы при описании свойств и линеек оборудования, характеристик энергетических систем и комплексов, измерительных приборов [1, 4, 5]. Документация, содержащая характеристики персонала безотносительно положения в служебной иерархии (возраст, пол, образование, допуски к видам работ, страхование и т. п.) упорядочивается согласно правилам матричной классификации, где первый классификационный признак – идентификатор сотрудника (ФИО или табельный номер). Если классификационные признаки имеют непрерывную природу (например, КПД оборудования), производят дискретизацию значений (с фиксированным или переменным шагом) и применяют матричную классификацию. Используемый в ЕСКК [1] фасетный метод классификации подобен матричной, но некоторые признаки, заложенные в конкретные классификаторы, являются непрерывными и заданы диапазонами, другие признаки зависимы, и соответствующие значения задаются парой чисел с различными единицами измерения, в некоторых случаях значениям признаков предшествует фрагмент иерархии, т. е. используется комбинированная классификация на основе матричной.

Непрерывные базисные классификаторы: ленты

Понятие, структура, размерность ленточной классификации. Ленточные классификации применяются в том случае, когда классификационные признаки не являются соподчиненными, при этом множества значений классификационных признаков непрерывны, в частности, когда признак является физической величиной, которая может принимать любое действительное значение из определенного интервала. По структуре ленточные классификации имеют сходство с матричными, но значение классификационного признака задается парой различных чисел – минимальным и максимальным значениями допустимого диапазона. Диапазоны различных значений классификационного признака могут не иметь общих точек или пересекаться, пересечением может быть точка или отрезок, один диапазон может быть вложен в другой. Разным значениям одного признака не могут соответствовать полностью совпадающие значения диапазонов. По аналогии с матричными классификациями *размерностью* ленточной классификации *Lt* полагаем количество составляющих ее классификационных признаков, а *расширенной размерностью* – произведение количества значений этих признаков. На рис. 9, *а* dim(*Lt*) = 1, extdim(*Lt*) = 3, на рис. 9, *б* dim(*Lt*) = 2, extdim(*Lt*) = 4 × 4.

а *б*

Рис. 9. Примеры ленточных классификаций: *а* – первого порядка; *б* – второго порядка

Общее и предельное количество классов для ленточной классификации определяется аналогично матричной.

Значения (диапазоны) классификационных признаков могут по-разному *группироваться* на числовой оси. На рис. 10 представлены возможные варианты группировки значений классификационного признака, применяемые для технических систем: кустовая (рис. 10, *а*) применяется для измерительных приборов; встык (рис. 10, *б*) может применяться для хорошо разработанных, широко используемых видов оборудования, образующих так называемые линейки оборудования; внакладку (рис. 10, *в*) – невырожденное пересечение диапазонов обеспечивает запас работоспособности в форс-мажорных обстоятельствах; разреженная (рис. 10, *г*) может применяться для новых видов оборудования, либо для устаревшего оборудования, постепенно выводимого из эксплуатации, либо для специфического оборудования, для которого диапазоны значений классификационного признака определяются, например, эргономическими требованиями, с учетом [6].

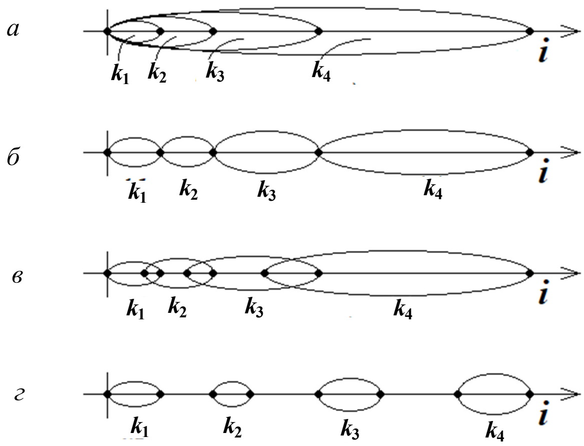
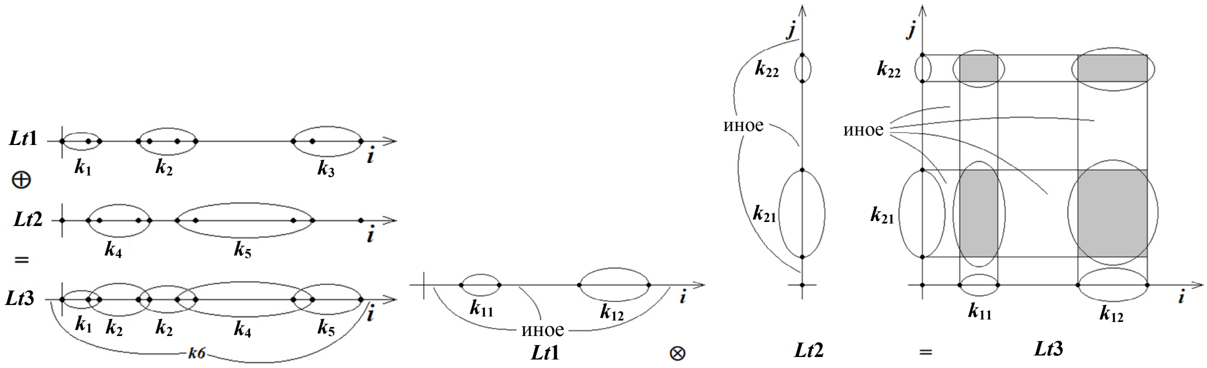


Рис. 10. Виды группировок диапазонов значений
классификационного признака ленточной классификации:
а – кустовая; *б* – встык; *в* – внакладку; *г* – разреженная

Операции над ленточными классификациями: сложение, умножение, сравнение. Операции сложения, вычитания, умножения, деления, сравнения для ленточных классификаций вводятся аналогично матричным. Сложение ленточных классификаций коммутативно и ассоциативно с точностью до наименований значений классификационных признаков, отличных от прямого задания диапазонов. Умножение ленточных классификаций коммутативно, ассоциативно и дистрибутивно по сложению с точностью до порядка и именования классификационных признаков и их значений. Ленточные классификации равны, если для них совпадают классификационные признаки и наборы значений признаков. На рис. 11, *а* приведен пример сложения ленточных классификаций.



а *б*

Рис. 11. Примеры сложения (*а*) и умножения (*б*) одномерных ленточных классификаций

На рис. 11, *б* представлен пример умножения ленточных классификаций, где $\dim(Lt1) = \dim(Lt2) = 1$, $\dim(Lt3) = 1 + 1 = 2$, $\text{extdim}(Lt1) = \text{extdim}(Lt2) = 3$, $\text{extdim}(Lt3) = 3 \times 3$.

На рис. 12 представлены этапы выбора оборудования с применением ленточной классификации с группировкой значений внакладку (с перекрытием).

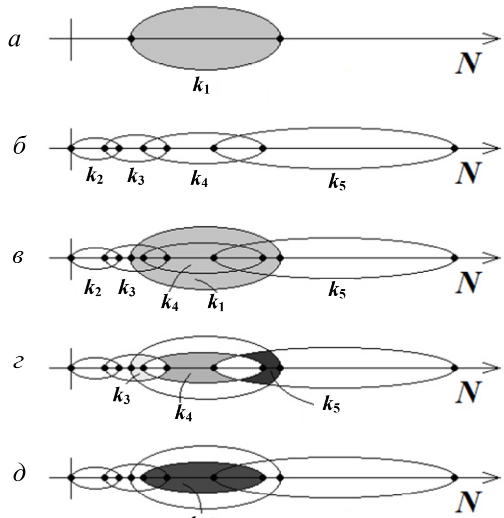


Рис. 12. Этапы выбора оборудования с применением ленточной классификации:
а – постановка задачи; *б* – обзор рынка спецтехники;
в – анализ соответствия; *г* – разработка рекомендаций; *д* – выбор приоритетного варианта

Была поставлена задача: выбрать оборудование определенного типа по одному классификационному признаку – вырабатываемой мощности N. Согласно потребностям производства необходима мощность в диапазоне k_1 (рис. 12, *а*). На рынке спецтехники представлено оборудование в диапазонах k_2, k_3, k_4, k_5 (рис. 12, *б*). Ни один из предлагаемых образцов не покрывает требуемый диапазон полностью (рис. 12, *в*), но имеются три образца, для каждого из которых диапазон вырабатываемой мощности пересекается с диапазоном требуемой мощности в области малых (k_3), средних (k_4) или больших (k_5) значений (рис. 12, *г*), эти образцы и были рекомендованы к применению. Был выбран образец с диапазоном k_4, обеспечивающий наибольшую степень покрытия требуемой мощности в области средних значений (рис. 12, *д*). Но если планируется часто использовать большую мощность, а образец с диапазоном k_5 может при снижении КПД обеспечить работу и с меньшей мощностью, то следует отдать предпочтение ему.

Формализованные свойства ленточной классификации. В ленточных классификациях, как и в матричных, классификационные признаки могут быть зависимыми. Более того, в силу непрерывности значений признаков, пересечение значений может быть непустым множеством. В этом случае может сложиться ситуация, когда один элемент области интерпретации удовлетворяет более чем одному значению одного классификационного признака (попадает более чем в один выделенный интервал). И необходимо либо учитывать это при маркировке и выборе, либо вводить дополнительные алгоритмы действий в подобных ситуациях для соблюдения правила «один элемент – один класс».

Теорема 1 (Lt). Удаление или введение новых классификационных признаков ленточной классификации не меняет классификацию области интерпретации по другим классификационным признакам.

Теорема 2 (Lt). Удаление или введение новых содержательных значений классификационных признаков ленточной классификации не меняет классификацию области интерпретации по другим содержательным значениям, а меняет лишь наполнение значения признака «иное» в том и только в том случае, если диапазон нового значения классификационного признака не пересекается ни с одним из уже введенных диапазонов значений.

Теорема 3 (Lt). Ленточная классификация по каждому из классификационных признаков проводится независимо от классификации по другим признакам в том и только в том случае, если эти признаки независимы.

Сфера применения ленточных классификаторов. При классификации технических систем в энергетике ленточные классификаторы применяются реже матричных, однако есть традиционные области их применения, в которых непрерывность классификационных признаков имеет принципиальное значение [5–7]: диапазоны показаний средств измерений; описание свойств окружающей среды, при которых возможна работа оборудования и измерительных приборов, нормальная и рабочая области значений параметров; описание термодинамических и иных свойств рабочих тел (воды, пара, дымовых газов).

Заключение

В данной работе рассмотрены базисные классификации технических систем – дискретные иерархические, дискретные матричные (векторные, сверхматричные) и непрерывные ленточные. Для каждого вида базисных классификаций введены понятие, структура, размерность, рассчитано количество классов. Определены основные операции над классификаторами: сложение/вычитание, умножение/деление, сравнение. Операции сложения и умножения позволяют расширять классификации, операции вычитания и деления – сужать. Для всех классификаций умножение равносильно введению новых классификационных признаков, сложение – введению новых значений уже имеющихся классификационных признаков. Рассмотрены алгебраические и формализованные свойства основных операций с учетом возможной зависимости классификационных признаков и значений признаков. Определены сферы применения различных классификаторов.

Отличие предлагаемого подхода к классификации от существующих заключается в учете природы классификационного признака: дискретный он или непрерывный, качественный или количественный, независимый или связанный с другими признаками, – это обеспечит преимущества в виде более адекватного отражения структуры классифицируемой области интерпретации. Новизна проделанной работы заключается в исследовании и формализации свойств основных, базисных классификаторов. Практическая значимость заключается в том, что результаты исследований могут быть использованы для разработки структуры классификаторов технических и связанных с ними систем с учетом специфики классификационных признаков, при разработке алгоритмов маркировки (кодировки) и выбора элементов из области интерпретации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ПР 50.1.019-2000*. Основные положения единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации и унифицированных систем документации в Российской Федерации. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200042805 (дата обращения: 20.12.2020).
2. *Саламатов Ю. П.* Система законов развития техники. URL: http://rus.triz-guide.com/assets/files/book_2/ (дата обращения: 20.12.2020).
3. *Альтшуллер Г. С.* Алгоритм решения изобретательских задач АРИЗ-85В. URL: http://www.altshuller.ru/triz/ariz85v.asp (дата обращения: 20.12.2020).
4. *ГОСТ 28269-89*. Котлы паровые стационарные большой мощности. Общие технические требования (с Изменением N 1). М.: Стандартинформ, 2006. 22 с.
5. *ГОСТ 24278-2016*. Установки турбинные паровые стационарные для привода электрических генераторов ТЭС. Общие технические требования (с Поправкой). М.: Стандартинформ, 2017. 17 с.
6. *ГОСТ 8032-84.* Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. М.: Изд-во стандартов, 1987. 18 с.
7. *ГОСТ Р 8.905-2015*. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Манометры показывающие. Рабочие средства измерений. Метрологические требования и методы испытаний (Переиздание). М.: Стандартинформ, 2019. 20 с.

Статья поступила в редакцию 29.12.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Наталья Васильевна Федорова – канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры тепловых электрических станций и теплотехники; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова; Россия, 346428, Новочеркасск; fedorovanv61@rambler.ru.

BASIC CLASSIFIERS OF FORMAL CLASSIFICATION THEORY OF TECHNICAL SYSTEMS: HIERARCHIES, VECTORS AND MATRICES, BANDS

N. V. Fedorova

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation

Abstract. The article considers the importance of a technical system among other technical systems in order to ensure its functioning and development, to classify objects, subjects, processes of the technical and related systems. Previously, the author presented the basics of the formal classification theory. This article describes the basic classifiers and operations with them. Three types of basic classifications are identified: discrete hierarchical, discrete matrix and continuous band classifications. For them the concept, structure, dimension, basic operations (addition, multiplication, equality) are defined. In the hierarchy, the classification attributes can be sorted by subordination, when the classification attributes of the lower levels of the hierarchy detail the features of higher levels. The dimension of the hierarchical classification is the number of levels of classification features. Matrix classifications (including vector and super-matrix) are used when the classification attributes are equal and their values are discrete. Band classifications are similar in structure to matrix classifications, but the value of the classification attribute is the interval of numbers, for which the lower and upper boundaries are determined. The dimension of the matrix and band classifications is equal to the number of non-subordinate classification attributes. For all classifications, multiplication is equivalent to the introduction of new classification attributes, addition is the introduction of new values of already existing classification attributes. A unified approach to various types of classifications makes it possible to plan the structure of classifications of specific technical systems, taking into account the properties of characteristic parameters.

Key words: technical systems, classification, formal theory, energy objects, classification attribute, interpretation area, range of values.

For citation: Fedorova N. V. Basic classifiers of formal classification theory of technical systems: hierarchies, vectors and matrices, bands. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2021;3:28-40. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2021-3-28-40.

REFERENCES

1. PR 50.1.019-2000. *Osnovnye polozheniia edinoi sistemy klassifikatsii i kodirovaniia tekhniko-ekonomicheskoi i sotsial'noi informatsii i unifitsirovannykh sistem dokumentatsii v Rossiiskoi Federatsii* [PR 50.1.019-2000. Main provisions of a unified system of classification and coding of technical, economic and social information and unified documentation systems in the Russian Federation]. Available at: http://docs.cntd.ru /document/1200042805 (accessed: 20.12.2020).

2. Salamatov Iu. P. *Sistema zakonov razvitiia tekhniki* [System of laws of technology development]. Available at: http://rus.triz-guide.com/assets/files/book_2/ (accessed: 20.12.2020).

3. Al'tshuller G. S. *Algoritm resheniia izobretatel'skikh zadach ARIZ-85V* [Algorithm for solving inventive problems ARIZ-85V]. Available at: http://www.altshuller.ru/triz/ariz85v.asp (accessed: 20.12.2020).

4. GOST 28269-89. *Kotly parovye statsionarnye bol'shoi moshchnosti. Obshchie tekhnicheskie trebovaniia (s Izmeneniem N 1)* [GOST 28269-89. Stationary steam boilers of high power. General technical requirements (Amendment No. 1)]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 22 p.

5. GOST 24278-2016. *Ustanovki turbinnye parovye statsionarnye dlia privoda elektricheskikh generatorov TES. Obshchie tekhnicheskie trebovaniia (s Popravkoi)* [GOST 24278-2016. Stationary steam turbine installations for driving electric generators of thermal power plants. General Specifications (Amended)]. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 17 p.

6. GOST 8032-84. *Predpochtitel'nye chisla i riady predpochtitel'nykh chisel* [GOST 8032-84. Preferred numbers and series of preferred numbers]. Moscow, Izd-vo standartov, 1987. 18 p.

7. GOST R 8.905-2015. *Gosudarstvennaia sistema obespecheniia edinstva izmerenii (GSI). Manometry pokazyvaiushchie. Rabochie sredstva izmerenii. Metrologicheskie trebovaniia i metody ispytanii (Pereizdanie)* [GOST R 8.905-2015. State system for ensuring the uniformity of measurements (GSI). Indicating manometers. Working measuring instruments. Metrological requirements and test methods (Reissured)]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 20 p.

The article submitted to the editors 29.12.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Natalia V. Fedorova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Thermal Power Plants and Heat Engineering; Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI); Russia, 346428, Novocherkassk; fedorovanv61@rambler.ru.