

АНАЛИЗ ПАТТЕРНОВ: ДИФFUЗИОННО-ИНВАРИАНТНАЯ ПАТТЕРН-КЛАСТЕРИЗАЦИЯ¹

А.Л. Мячин

Предложена модификация метода анализа паттернов, позволяющая выделять в отдельные кластеры объекты, обладающие не только схожей структурой, но и близостью значений определяющих их параметров. Приведены описание метода и его алгоритмическая реализация.

Ключевые слова: паттерн, кластерный анализ, диффузионно-инвариантная паттерн-кластеризация.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ паттернов является одним из современных и эффективных методов обработки больших объемов информации. «Анализ паттернов — область анализа данных, связанная с поиском взаимосвязей исследуемых объектов, построением их классификации и исследованием развития объектов во времени» [1].

Из современных работ, демонстрирующих многообразие сфер его применения, укажем на статьи, посвященные макроэкономике [2], банковской сфере [3, 4], науке, образованию и инновационной деятельности [5, 6], политологии [7].

Существенная особенность такого анализа заключается в наглядности результатов, основанной на визуальном представлении паттернов с помощью параллельных координат [8]. Это позволяет геометрически отобразить схожесть структуры данных в рамках выделяемых кластеров. Кластер-анализ — направление анализа данных, развивающее методы формирования и интерпретации групп однородных наблюдений [9]. В ряде публикаций

предлагаются методы кластер-анализа, использующие специфику параллельных координат. Например, для этой цели предлагается найти сначала наиболее информативное упорядочение параллельных осей признаков, а затем уже группировать объекты по сходству их представления ломаными линиями на этих осях [10]. В работе [6] автором предложен метод кластер-анализа, основанный на выявлении таких групп объектов, что соответствующие им ломаные имеют одинаковые паттерны при любом упорядочении параллельных осей. В настоящей работе предлагается дальнейшее развитие метода порядково-инвариантной паттерн-кластеризации [11], предназначенного для ситуаций, в которых имеет значение не только «параллельность» ломаных, но и их близость друг к другу. Эту модификацию метода порядково-инвариантной паттерн-кластеризации мы называем «диффузионно-инвариантной паттерн-кластеризацией». В ее основе лежит идея поиска объектов, настолько близких как по структуре, так и значениям своих параметров, что взаимный обмен значениями не сказывается на их схожести.

1. ПОРЯДКОВО-ИНВАРИАНТНЫЕ КЛАСТЕРЫ

Имеется множество X , состоящее из k объектов, т. е. $|X| = k$. Объекты $x_i \in X$ описываются векторами $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{im})$, где x_{ij} — значение j -го параметра на i -м объекте, $i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, m$. Ставится задача разбиения множества X на кластеры схожих между собой объектов.

¹ Статья подготовлена в результате проведения исследования в рамках Программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) и с использованием средств субсидии в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100», а также при поддержке Лаборатории теории выбора и анализа решений Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН и Международной лаборатории анализа и выбора решений (НИУ ВШЭ).



При решении этой задачи с помощью метода анализа паттернов объекты $x_i \in X$ отображаются в m -мерной системе параллельных координат [8], состоящей из m вертикальных равномерно распределенных осей, каждая из которых служит для отображения значений одного из параметров. Для каждого объекта отмеченные на осях значения параметров соединяются отрезками прямой. Таким образом, объекты $x_i \in X$ представляются в виде ломаных линий, т. е. кусочно-линейных функций, с вершинами на параллельных осях. Далее анализируется схожесть паттернов ломаных, соответствующих различным объектам [6].

Для иллюстрации приведем данные активов гипотетических банков, представленных в табл. 1.

В данном примере множество X состоит из шести объектов: Банк 1, Банк 2, ..., Банк 6, активы которых представлены трехмерными векторами $x_1 = (35, 10, 25)$, $x_2 = (40, 15, 30)$, $x_3 = (15, 65, 20)$, $x_4 = (70, 45, 60)$, $x_5 = (75, 50, 65)$ и $x_6 = (10, 60, 15)$. В соответствии с данными банковских активов, построим соответствующие им кусочно-линейные функции, соответствующие естественному упорядочению активов: А, В, С (рис. 1).

Согласно порядково-инвариантной паттерн-кластеризации, банки 1, 2, 4, 5 оказываются в одном и том же кластере, так как соответствующие им ломаные имеют один и тот же паттерн, при котором значение актива В меньше двух других. Паттерны банков 3 и 6 направлены противоположно, так что они образуют второй кластер (рис. 2).

2. ДИФFUЗИОННО-ИНВАРИАНТНАЯ ПАТТЕРН-КЛАСТЕРИЗАЦИЯ

Рассмотрим порядково-инвариантный кластер 1, объекты которого представлены на рис. 2. Все четыре объекта имеют схожую структуру активов: доминирующее положение (в числовом выражении) занимает «Актив А», следующим по значению является «Актив С», и наименьшим значением обладает «Актив В». Такое сходство общей структуры параметров демонстрирует одну из сильных

Таблица 1

Данные активов гипотетических банков

Банк	Актив А	Актив В	Актив С
Банк 1	35	10	25
Банк 2	40	15	30
Банк 3	15	65	20
Банк 4	70	45	60
Банк 5	75	50	65
Банк 6	10	60	15

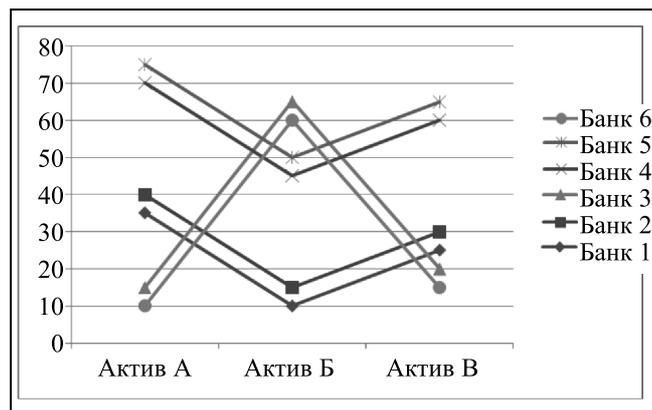


Рис. 1. Кусочно-линейные функции банковских активов

сторон метода порядково-инвариантной паттерн-кластеризации, обуславливающую достаточно широкий спектр его приложений, для которых это качество существенно как свидетельствующее об определенной «функциональной» близости выделенных объектов.

Вместе с тем из рис. 2 видно, что при схожей структуре активы четвертого и пятого объектов существенно выше первых двух. Поэтому представляется естественным разделить данный кластер на две группы объектов, связанных не только схожей структурой активов, но и близостью их значений².

Реализацию этой идеи можно осуществить привлечением метрических соотношений, как это сделано, например, в работе [12]. Однако в настоящей работе продолжена линия применения неметрического подхода порядково-инвариантной паттерн-кластеризации.

Для этого предлагается использовать широко распространенное в технических системах понятие «функциональной взаимозаменяемости» [13], которая определяется как «связь в определенных пределах между функциональными параметрами деталей и узлов (блоков) и их экономическими оптимальными эксплуатационными показателями».

Применительно к решаемой задаче, под функциональной взаимозаменяемостью будем понимать способность объектов оставаться в рамках выделенного кластера при взаимном обмене значениями соответствующих параметров.

Продемонстрируем работу предлагаемого метода на примере данных кластера $v_1 = \{x_1, x_2, x_4, x_5\}$.

² Подобная ситуация отмечается, например, в работе [5] при исследовании показателей инновационной активности отдельных регионов Российской Федерации. В частности, в данной работе демонстрируется, что ряд регионов описываются паттернами, имеющих схожий характер, но с существенно различными значениями показателей.

С этой целью рассмотрим изменение характера ломаных при взаимном обмене отдельными активами А, В и С между первым и вторым банками (рис. 3).

Рис. 3 демонстрирует не изменившийся характер соотношений активов всех четырех банков: доминирующее положение «Актива А», за которым следуют «Актив С» и «Актив В».

Аналогичная ситуация наблюдается при взаимном обмене активами А, В и С между четвертым и

пятым банками. Результаты этих обменов отображены на рис. 4. В этом случае также наблюдается тот же характер соотношений активов всех четырех банков.

Однако ситуация существенно меняется при обмене активами между первым и четвертым банками. Структура активов в них становится совершенно различной (рис. 5). Аналогичные изменения наблюдаются и при обмене активами между вторым и четвертым банками, равно как и при

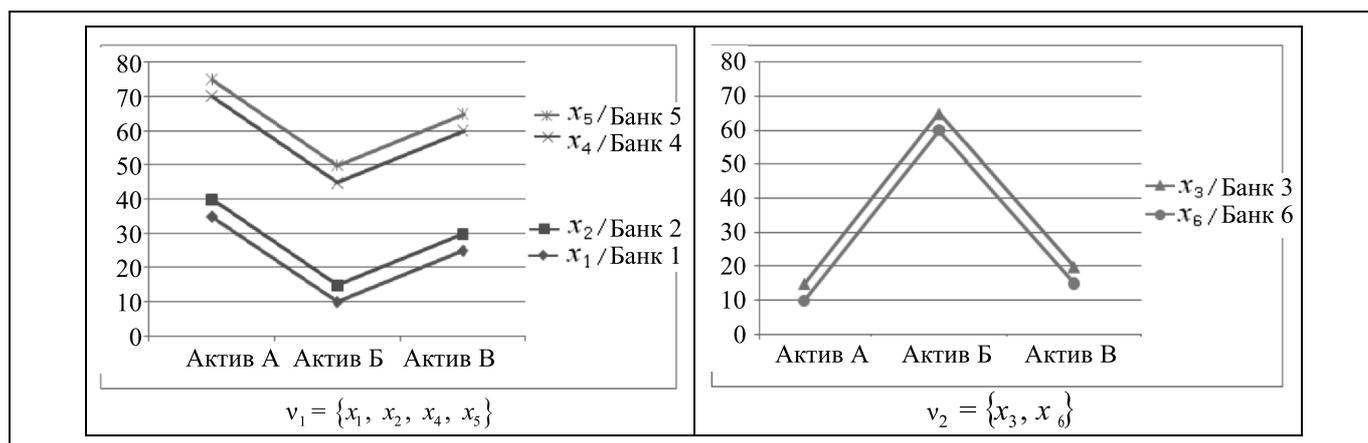


Рис. 2. Результат разбиения исходного множества $\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6\}$ на кластеры одинаковых паттернов $v_1 = \{x_1, x_2, x_4, x_5\}$ и $v_2 = \{x_3, x_6\}$

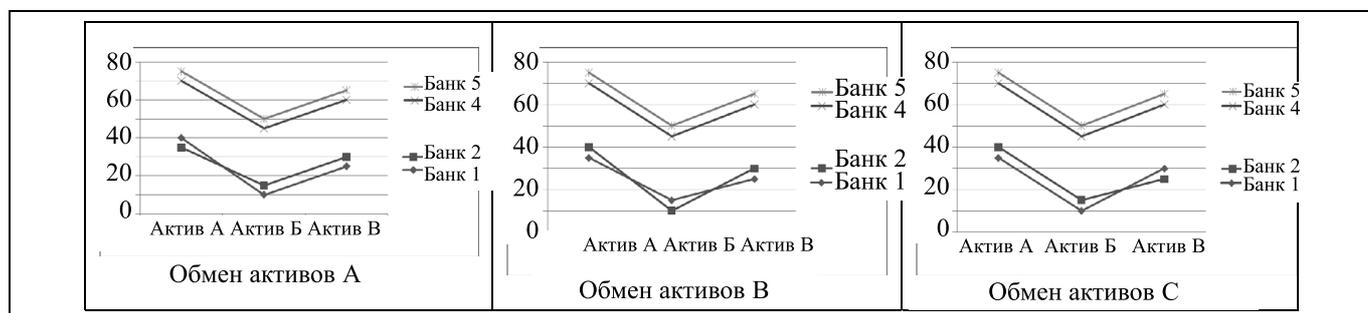


Рис. 3. Кусочно-линейные функции при обмене активами между банками 1 и 2

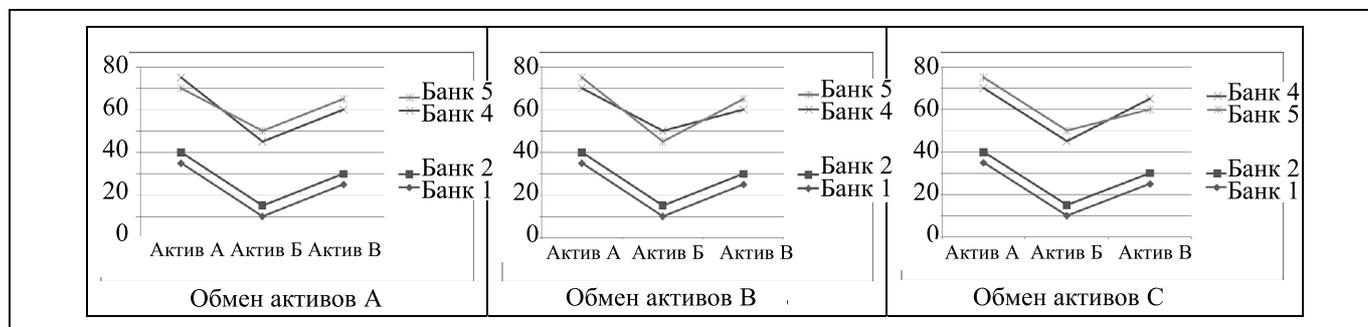


Рис. 4. Кусочно-линейные функции при обмене активами между банками 4 и 5

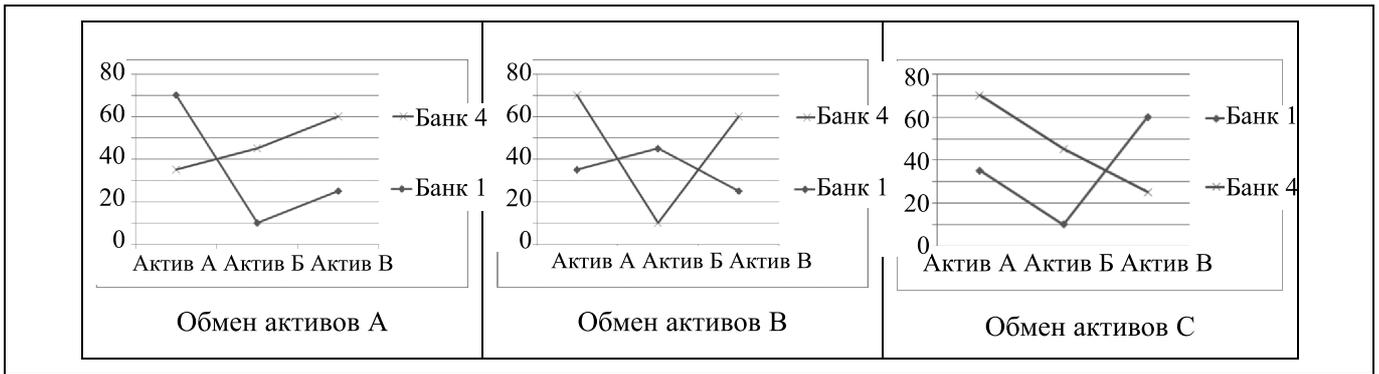
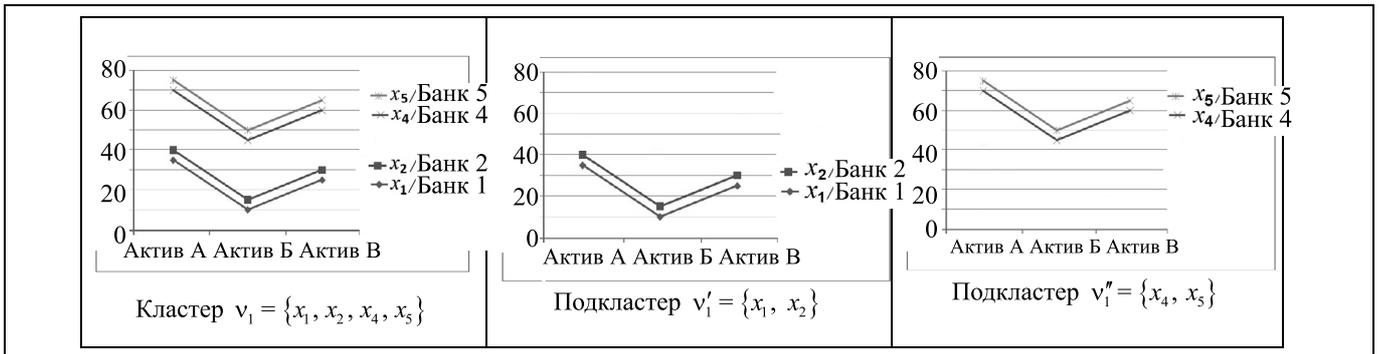


Рис. 5. Кусочно-линейные функции при обмене активами между банками 1 и 4

Рис. 6. В кластере $v_1 = \{x_1, x_2, x_4, x_5\}$ выделяются два подкластера: $v'_1 = \{x_1, x_2\}$ и $v''_1 = \{x_4, x_5\}$

обменах первого или второго банков с пятым банком.

Таким образом, в кластере $v_1 = \{x_1, x_2, x_4, x_5\}$ выделяются два подкластера $v'_1 = \{x_1, x_2\}$ и $v''_1 = \{x_4, x_5\}$. Банки, входящие в каждый из них, обладают сходной структурой своих активов, соответствующие значения которых настолько близки, что взаимный обмен ими не приводит к изменению общей структуры активов в каждом отдельном банке (рис. 6).

3. АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Вид ломаной объекта $x_i \in X$ в системе параллельных координат предлагается описывать кодовой последовательностью символов $r_i = \{r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^j, \dots, r_i^{m-1}\}$, где r_i^j определяется формулами:

$$r_i^j = 1 \text{ при } x_{ij} < x_{ij+1}, \quad (1)$$

$$r_i^j = 0 \text{ при } x_{ij} = x_{ij+1}, \quad (2)$$

$$r_i^j = 2 \text{ при } x_{ij} > x_{ij+1}. \quad (3)$$

Совпадение кодовых последовательностей различных объектов означает одинаковый ход кусочно-линейных функций, представляющих эти объекты в системе параллельных координат.

Учитывая дискретность и ограниченность множества формируемых значений r_i^j , возможна трактовка кодовой последовательности r_i как позиционного кода $(r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^j, \dots, r_i^{m-1})$ некоторого числа. Это дает возможность заменить операцию посимвольного сравнения кодовых последовательностей на операцию сравнения чисел. В частности, в целях наглядности и практической реализации описываемого метода использован десятичный позиционный код. В этом случае кодовая последовательность r_i трактуется как десятичное число q_i :

$$q_i = \sum_{j=1}^{m-1} 10^{j-1} r_i^{m-j}. \quad (4)$$

Применяя соотношения, задаваемые формулами (1)–(3), формируются кодовые последовательности, описывающие ломаные, которые соответствуют объектам исходного множества X при

данном упорядочении параметров. Для их сравнения воспользуемся соответствующим представлением в форме десятичных чисел, помещая объекты с совпадающими кодовыми последовательностями в единый кластер. В табл. 2, приведены кодовые представления данных банковских активов в системе параллельных координат и результаты кластерного объединения одинаковых кодовых последовательностей.

Как видно из этой таблицы, исходные данные $X = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6\}$ распределены в два кластера: кластер $v_1 = \{x_1, x_2, x_4, x_5\}$, объекты которого описываются кодовой последовательностью «21», и кластер $v_2 = \{x_3, x_6\}$, объектов с кодовой последовательностью «12». Результаты приведенного разбиения графически отображены на рис. 2.

В общем случае полученные коды дорабатываются путем добавления новых разрядов, отображающих результаты перестановки оси первого пара-

метра с осью каждого из последующих параметров. Каждый такой троичный разряд отражает характер направления отрезка прямой между переставленной осью и той, которая оказывается непосредственно следующей за ней. Затем добавляются разряды, соответствующие перестановкам второй оси с каждой из последующих, затем — третьей, и так далее. В результате получается кодировка объектов, отражающая характер соответствующих ломаных при всевозможных перестановках параметров и соответствующих им осей. Равные коды отвечают классам окончательного порядково-инвариантного разбиения [11].

Далее выделяются подкластеры на основе критерия функциональной взаимозаменяемости параметров объектов.

Для этого внутри каждого из выделенных порядково-инвариантных кластеров рассматриваются все пары объектов x_a и x_b , характеризующиеся векторами $x_a = (x_{a1}, x_{a2}, \dots, x_{am})$ и $x_b = (x_{b1}, x_{b2}, \dots, x_{bm})$ соответственно. Для каждой пары проверяется функциональная взаимозаменяемость их параметров.

С этой целью для каждого параметра $j = 1, 2, \dots, m$ производим обмен их значений в векторах x_a и x_b . Например, для $j = 1$ получаем новые векторы $x_a^* = (x_{b1}, x_{a2}, \dots, x_{am})$ и $x_b^* = (x_{a1}, x_{b2}, \dots, x_{bm})$. В соответствии с формулами (1) — (3) составляются позиционные коды для вновь образованных объектов (с учетом измененных значений параметров), и по формуле (4) — их десятичное представление: q_a^* и q_b^* . Принцип разделения остается тот же: если $q_a^* \neq q_b^*$, то объекты x_a и x_b должны находиться в разных подкластерах, так как значения какого-то параметра оказались не функционально взаимозаменяемы. Таким способом проверяются все параметры для данных двух объектов; они помещаются в один и тот же подкластер, только если их значения функционально взаимозаменяемы по всем параметрам. Поскольку равенство чисел обладает свойством транзитивности, то очевидно, что для еще непроверенных объектов нет необходимости их сравнения со всеми объектами, попавшими в один и тот же подкластер, достаточно только одного.

Сформированные таким образом подкластеры, называемые нами диффузионно-инвариантными, состоят из объектов, у которых не только схожие паттерны, но и близкие значения по каждому параметру.

Для примера рассмотрим разделение порядково-инвариантного кластера $v_1 = \{x_1, x_2, x_4, x_5\}$ на диффузионно-инвариантные подкластеры. Данный кластер объединяет четыре банка. В табл. 3

Таблица 2

Результаты кластеризации

Банк	Актив А	Актив В	Актив С	Код	Кластер
Банк 1	35	10	25	21	v_1
Банк 2	40	15	30	21	v_1
Банк 3	15	65	20	12	v_2
Банк 4	70	45	60	21	v_1
Банк 5	75	50	65	21	v_1
Банк 6	10	60	15	12	v_2

Таблица 3

Обмен активами первого и второго банков

Состояние активов	Банк	Актив А	Актив В	Актив С	Код
Исходное	Банк 1	35	10	25	21
	Банк 2	40	15	30	21
Обмен активами А	Банк 1	40	10	25	21
	Банк 2	35	15	30	21
Обмен активами В	Банк 1	35	15	25	21
	Банк 2	40	10	30	21
Обмен активами С	Банк 1	35	10	30	21
	Банк 2	40	15	25	21

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены обмененные активы.

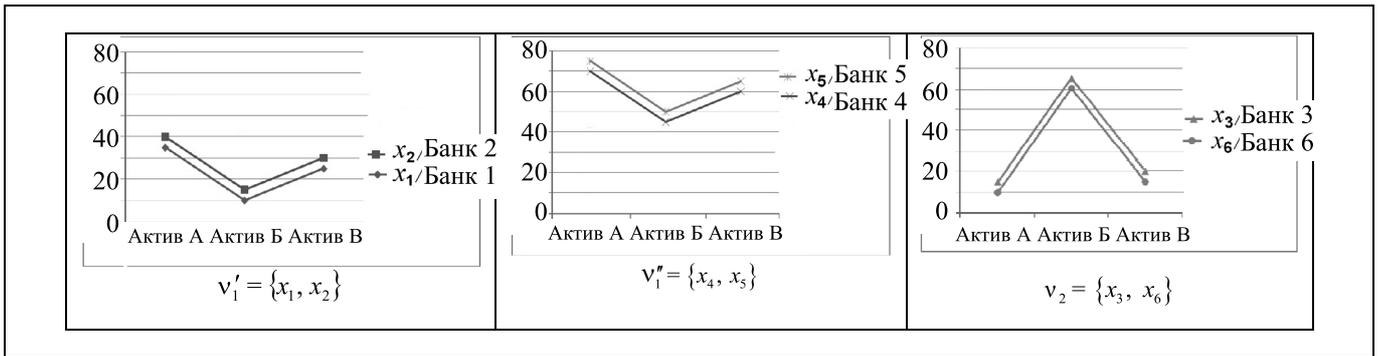


Рис. 7. Диффузионно-инвариантные кластеры $v_1' = \{x_1, x_2\}$, $v_1'' = \{x_4, x_5\}$ и $v_2 = \{x_3, x_6\}$

приведены результаты проверки взаимозаменяемости активов первого и второго банка: первые две строки отражают исходные значения активов; за ними следуют две строки, отражающие состояние банковских активов при обмене активами А; затем две строки, отражающие результат обмена активами В; и заключительные две строки — результат обмена активами С. Для каждой строки (исходной и преобразованной в результате обмена) формируется соответствующая ей кодовая последовательность (представленная в последнем столбце таблицы).

Как видно из этой таблицы, обмен активами первого и второго банков не приводит к изменению кодовой последовательности. Поэтому эти банки могут быть объединены в рамках одного подкластера.

Аналогичная ситуация наблюдается при обмене активов четвертого и пятого банков. Эти банки также могут быть объединены в рамках одного подкластера.

Однако ситуация кардинально меняется при попытке обмена активами первого банка с активами четвертого банка, что наглядно демонстрирует табл. 4.

Как видно из этой таблицы, при обмене банковскими активами, формируемые кодовые последовательности становятся различными, что означает невозможность объединения первого и четвертого банков в рамках одного подкластера. Этот результат наглядно отражает рис. 5.

Таким образом, в кластере $v_1 = \{x_1, x_2, x_4, x_5\}$ выделяются два подкластера $v_1' = \{x_1, x_2\}$ и $v_1'' = \{x_4, x_5\}$.

Применение этой же процедуры к кластеру $v_2 = \{x_3, x_6\}$ показывает, что объекты этого кластера обладают свойством функциональной взаимозаменяемости активов, так что данный порядково-инвариантный кластер является и диффузионно-инвариантным.

Таким образом, итоговый результат заключается в разделении исходного множества на три диффузионно-инвариантных кластера $v_1' = \{x_1, x_2\}$, $v_1'' = \{x_4, x_5\}$ и $v_2 = \{x_3, x_6\}$, объединяющих банки, обладающие сходными структурами и значениями своих активов, что обеспечивает возможность их обмена без нарушения общей структуры активов банка (рис. 7).

Отметим, что описанный метод диффузионно-инвариантной паттерн-кластеризации основывается на понятии функциональной взаимозаменяемости применительно к параметрам объектов и прямо не использует оценку расстояния между ними. Однако более детальное рассмотрение показывает, что он имеет определенную связь с кластеризацией, использующей евклидову метрику. Эту связь отражает

Утверждение. Пусть два объекта $x_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m})$ и $x_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2m})$ принадлежат одному кластеру v , построенному с использованием евклидо-

Таблица 4

Обмен активами первого и четвертого банков

Состояние активов	Банк	Актив А	Актив В	Актив С	Код
Исходное	Банк 1	35	10	25	21
	Банк 4	70	45	60	21
Обмен активами А	Банк 1	70	10	25	21
	Банк 4	35	45	60	11
Обмен активами В	Банк 1	35	45	25	12
	Банк 4	70	10	60	21
Обмен активами С	Банк 1	35	10	60	21
	Банк 4	70	45	25	22

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены обмененные активы.

ва расстояния $d_e(x_i, z) < R_V$ между объектами и центром кластера $z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$, где R_V — радиус кластера. образуем новые объекты x_1^* и x_2^* , обменяв соответствующие значения одной из координат исходных объектов x_1 и x_2 .

Тогда:

1) евклидовы расстояния между исходными объектами $d_e(x_1, x_2)$ и между вновь образованными объектами $d_e(x_1^*, x_2^*)$ равны;

2) по меньшей мере, один из вновь образованных объектов принадлежит данному кластеру V .

Доказательство утверждения приведено в Приложении.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Несмотря на высокую эффективность диффузионно-инвариантной паттерн-кластеризации, отметим, что данный метод может разделять достаточно близкие по значениям параметров объекты в два различных кластера. Проведенный анализ подобных случаев показал, что это связано с высокой чувствительностью диффузионно-инвариантной паттерн-кластеризации к наличию очень близких значений параметров в рамках одного объекта. В этом случае даже небольшие флуктуации, связанные с процессом обмена параметров, могут приводить к неустойчивости результата, что обуславливает одно из направлений дальнейших исследований: повышение устойчивости диффузионно-инвариантной паттерн-кластеризации. Вероятно, этого можно добиться, если ввести порог погрешности, внутри которого значения параметров следует считать одинаковыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модификация метода порядково-инвариантной паттерн-кластеризации, позволяющая учитывать близость как структуры, так и значений параметров исследуемых объектов. Его отличительная особенность состоит не только в выделении кусочно-линейных функций, схожих по форме их графиков, но и обладающих близкими значениями, что в отдельных случаях позволяет говорить об объединении в единый кластер функционально близких объектов.

Благодаря относительно невысокой вычислительной сложности, предложенный метод можно применять для анализа больших данных.

Автор выражает благодарность д-ру техн. наук, профессору Ф.Т. Алескерову и д-ру техн. наук, профессору Б.Г. Миркину за помощь в написании данной статьи.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Доказательство утверждения. Справедливость первой части утверждения очевидна. Действительно, евклидово расстояние между исходными объектами

$$d_e(x_1, x_2) = \sqrt{(x_{11} - x_{21})^2 + \sum_{i=2}^m (x_{1i} - x_{2i})^2}.$$

Расстояние между вновь образованными объектами

$$d_e(x_1^*, x_2^*) = \sqrt{(x_{21} - x_{11})^2 + \sum_{i=2}^m (x_{1i} - x_{2i})^2}.$$

Сравнивая полученные выражения, получим, что

$$d_e(x_1, x_2) = d_e(x_1^*, x_2^*).$$

Покажем теперь справедливость второй части утверждения. Принадлежность объектов x_1 и x_2 одному кластеру означает, что расстояние между каждым из них и центром кластера z удовлетворяет соотношениям

$$d_e(x_1, z) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{1i} - z_i)^2} < R_V$$

и

$$d_e(x_2, z) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{2i} - z_i)^2} < R_V,$$

где R_V — радиус кластера V .

Тогда

$$d_e^2(x_1, z) = \sum_{i=1}^m (x_{1i} - z_i)^2 < R_V^2$$

и

$$d_e^2(x_2, z) = \sum_{i=1}^m (x_{2i} - z_i)^2 < R_V^2.$$

Найдем расстояние от вновь образованных объектов до центра кластера:

$$d_e(x_1^*, z) = \sqrt{(x_{21} - z_1)^2 + \sum_{i=1}^m (x_{1i} - z_i)^2},$$

$$d_e(x_2^*, z) = \sqrt{(x_{11} - z_1)^2 + \sum_{i=1}^m (x_{2i} - z_i)^2}.$$

Возведя эти выражения в квадрат после элементарных преобразований получим:

$$\begin{aligned} d_e^2(x_1^*, z) &= (x_{21} - z_1)^2 + \sum_{i=2}^m (x_{1i} - z_i)^2 = \\ &= (x_{21} - z_1)^2 + \left(\sum_{i=1}^m (x_{1i} - z_i)^2 - (x_{11} - z_1)^2 \right) \Rightarrow d_e^2(x_1^*, z) = \\ &= (x_{21} - z_1)^2 + \left(\sum_{i=1}^m (x_{1i} - z_i)^2 - (x_{11} - z_1)^2 \right) < \\ &< (x_{21} - z_1)^2 + (R_V^2 - (x_{11} - z_1)^2), \end{aligned}$$



т. е.

$$d_e^2(x_1^*, z) < (x_{21} - z_1)^2 + R_V^2 - (x_{11} - z_1)^2.$$

Аналогично получим:

$$d_e^2(x_2^*, z) < (x_{11} - z_1)^2 + R_V^2 - (x_{21} - z_1)^2.$$

Складывая эти два неравенства, получим:

$$d_e^2(x_1^*, z) + d_e^2(x_2^*, z) < 2R_V^2.$$

Поскольку слагаемые в левой части неотрицательны, то оба они одновременно не могут превышать величины R_V^2 . По крайней мере, одно из них должно быть меньше R_V^2 , т. е. либо

$$d_e^2(x_1^*, z) < R_V^2 \Rightarrow d_e(x_1^*, z) < R_V \Rightarrow x_1^* \in v,$$

либо

$$d_e^2(x_2^*, z) < R_V^2 \Rightarrow d_e(x_2^*, z) < R_V \Rightarrow x_2^* \in v,$$

либо эти неравенства верны для обоих объектов. В этом случае они оба принадлежат кластеру v : $x_1^*, x_2^* \in v$. Утверждение доказано.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ паттернов в статике и динамике. Часть 1: Обзор литературы и уточнение понятия / Ф.Т. Алескеров и др. // Бизнес-информатика. — 2013. — Т. 3. — С. 3—18.
2. Aleskerov F., Alper C.E. A clustering approach to some monetary facts: a long-run analysis of cross-country data // The Japanese Economic Review. — 2000. — Vol. 51, N 4. — P. 555—567.
3. Aleskerov F., Ersel H., Yolalan R. Multicriterial Ranking Approach for Evaluating Bank Branch Performance // International Journal of Information Technology and Decision Making. — 2004. — Vol. 3, N 2. — P. 321—335.
4. Алескеров Ф.Т., Солодков В.М., Челнокова Д.С. Динамический анализ паттернов поведения коммерческих банков России // Экономический журнал Высшей школы экономики. — 2006. — Т. 10, № 1. — С. 48—62.
5. Pattern Analysis in the Study of Science, Education and Innovative Activity in Russian Regions / Aleskerov F., et al. // Procedia Computer Science. — 2013. — Vol. 17. — P. 687—694.
6. Myachin A. Analysis of global data education and patent activity using new methods of pattern analysis // Procedia Computer Science. — 2014. — N 31. — P. 468—473.
7. Aleskerov F., Nurmi H. A method for finding patterns of party support and electoral change: An analysis of British general and Finnish municipal elections // Mathematical and Computer Modelling. — 2008. — P. 1225—1253.
8. Inselberg A. Parallel Coordinates: Visual Multidimensional Geometry and Its Applications. — N.-Y.: Springer, 2009.
9. Миркин Б.Г. Методы кластер-анализа для поддержки принятия решений: обзор / Препринт. Высшая школа экономики. Сер. WP7 «Математические методы анализа решений в экономике, бизнесе и политике». — 2011. — № 03. — 88 с.
10. Zhao X., Kaufman A. Structure revealing techniques based on parallel coordinates plot // The Visual Computer. — 2012. — Vol. 28, N 6—8. — С. 541—551.
11. Myachin A. New methods of pattern analysis in the study of Iris Anderson-Fisher Data // IEEE Proc. of 2016 6th Intern. Conf. on Computers Communications and Control (ISBN 978-1-5090-1735-5).
12. Dunia R., Edgar T.F., Nixon M. Process monitoring using principal components in parallel coordinates // AIChE Journal. — 2013. — Vol. 59, N 2. — С. 445—456.
13. Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id430983p1.html> (дата обращения: 11.01.2016).

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Дорофеевым.

Мячин Алексей Леонидович — мл. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН; стажер-исследователь, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, amyachin@hse.ru.



XVI международная молодежная конференция «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM—2016)»

Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
17—19 октября 2016 г.

Основные направления работы конференции

- Организация структур технических и программных средств проектирования и управления. Средства взаимодействия, структуры данных, международные стандарты
- Компьютерная графика и CAD/CAM/PDM-системы в учебных процессах (программы обучения по дисциплинам, методические материалы, тестирование). Средства виртуальной реальности в промышленных системах
- Интегрированные производственные системы и управление технологическими процессами. PDM-системы
- Проектирование в машиностроении и строительстве
- Проектирование в радиоэлектронике

Подробная информация о конференции находится на сайте <http://lab18.ipu.ru>.

Контакты: ✉ conf18@spm.ipu.ru, ☎ (495) 334-93-50, ☎ (495) 334-91-29.

Председатель Оргкомитета — д-р техн. наук Алексей Вячеславович Толоч.

Ученый секретарь — канд. техн. наук Сергей Владимирович Смирнов.