

дополнять устройствами, способными фиксировать мелкие сокращения кожи, давление в сосудах и т.д., позволяя системе регистрировать полную картину изменений в теле и проектировать комплексные движения утраченной конечности на основе алгоритмов машинного обучения.

Литература

1. Сонголов, Г. И. Ампутации и экзартикуляции: учебное пособие / Г. И. Сонголов, О. П. Галеева. – Иркутск: ИГМУ, 2013. – с. 60.
2. The Ewing Amputation: The First Human Implementation of the Agonist-Antagonist Myoneural Interface / Hugh Herr [и др.] // *Plast Reconstr Surg Glob Open*. – 2018. – № 6 (11).
3. Грузд, Н. А. Электромиографический сенсор и его применение в области протезирования конечностей / Н. А. Грузд, Ю. В. Суходолов // Новые направления развития приборостроения : материалы 15-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 20–22 апреля 2022 г. / Белорусский национальный технический университет ;

редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 11–12.

4. Floating EMG sensors and stimulators wirelessly powered and operated by volume conduction for networked neuroprosthetics / Laura Becerra-Fajardo [и др.] // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. – 2022. – Vol. 19, № 57.

5. Synthetic nervous system: neuromuscular feedback mechanism [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://everettlawson.com/synthetic-nervous-system-2/>. – Дата доступа: 14.09.2022.

6. Фантомные боли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://motorica.org/prosthetics/adults/tpost/1mbkjh0fme-fantomnie-boli>. – Дата доступа: 13.09.2022.

7. Способ профилактики фантомного болевого синдрома при ампутации конечности по онкологическим показаниям / Н. А. Осипова [и др.] // *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*. – 2013. – № 3. – С. 51 – 55.

8. Фантомная боль, роль и место различных методов лечения фантомно-болевого синдрома / А. Т. Давыдов [и др.] // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. – 2014. – №12. – С. 35–58.

УДК 51

РЕАЛИЗАЦИЯ МАТРИЧНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ИНЖЕНЕРИИ

Гундина М.А., Юхновская О.В., Каменко Д.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В данной статье рассматривается реализация некоторых статистических алгоритмов выявления аномальных значений выборки, реализованных в компьютерной системе Wolfram Mathematica. Описываются различные подходы к процессу выявления аномалии выборки и специфика их использования. Обнаружение аномалий относится к поиску непредвиденных значений в потоках данных.

Ключевые слова: аномальное значение, выборка, компьютерная система Wolfram Mathematica.

IMPLEMENTATION OF MATRIX METHOD OF DETERMINING ANOMALIES IN ENGINEERING

Hundzina M., Yuhnovskaya O., Kamenka D.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. This article discusses the implementation of some statistical algorithms for detecting anomalous sample values, implemented in a computer system Wolfram Mathematica. Various approaches to the process of anomaly detection and the specifics of their use are described. Anomaly detection refers to finding unexpected values in data streams.

Key words: anomalous value, sample, computer system.

*Адрес для переписки: Гундина М.А., пр. Независимости, 65, Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: hundzina@bntu.by*

При автоматическом сборе показаний прибора необходимо автоматическое определение значений, которые сильно отличаются от всей совокупности исследуемых данных. Сейчас в современных компьютерных пакетах инженерных расчетов появилась возможность реализовать алгоритмы обнаружения аномальных значений выборки. Часто это осуществляется с помощью поиска и анализа закономерностей исходных эмпирических данных. Например, в компьютерной системе Wolfram Mathematica используется функция Find-

Formula. Она позволяет найти аппроксимирующую функцию, которая достаточно хорошо описывает исходный набор данных.

Исходные данные могут быть различной природы. Известно, что случайная величина погрешности измерения прибора является нормально распределенной величиной. Однако предположение о нормальном распределении выборки может и не выполняться. На данный момент существует множество подходов для определения аномалий и подходов к автоматизации процесса их выявления.

Одни требуют привлечения сложного математического аппарата, другие достаточно просты в реализации, третьи должны учитывать особенности природы исходного анализируемого процесса.

Целью данной статьи является анализ определений аномалий в различных отраслях науки и реализация алгоритма выявления аномальных значений матричным методом в компьютерной системе Wolfram Mathematica.

Процессом поиска аномальных значений несколько десятилетий интересуются физики, математики, социологи, педагоги, астрономы, медики и другие ученые. В каждой науке свой подход к определению таких значений.

В инженерии своевременное обнаружение аномалий является основой предотвращения нештатных ситуаций и преждевременных отказов приборов. Например, в анализе многомерных технологических сигналах аномалия представляет собой отклонение поведения системы от заранее описанного стандартного ее поведения [1].

В философском смысле под аномалией понимается научный дискурс (совокупность научных текстов, связанных содержательными и функциональными отношениями), обозначающий познавательную ситуацию, при которой результаты наблюдений и экспериментов противоречат принятым теоретическим представлениям или не совпадают с предсказаниями, сделанными на основе таких представлений [2].

В медицине аномальным значением является результат отклонения от нормального развития, т.е. возникновения нетипичного строения и деятельности органов или всего организма [3].

В биологии исследователи определяют аномалию как отклонение от структуры и (или) функции, присущей данному биологическому виду, возникшее вследствие нарушения развития организма [4].

Педагогический термин девиация является синонимом понятия аномалии. Оно может быть рассмотрено как отклонение разной степени от нормы поведения [5].

Анализ литературных источников позволяет сделать вывод о том, под аномалией можно понимать отклонение поведения анализируемой системы от некоторого стандартного ожидаемого поведения системы.

Рассмотрим реализацию одного метода обнаружения аномалий, основанного на сингулярном разложении матриц.

Основная идея метода обнаружения аномальных значений, основанного на разложении матриц, состоит в том, чтобы использовать сингулярное разложение исходной матрицы исследуемых данных.

Предположим, что исходный набор данных выглядит следующим образом, как это представлено на рис. 1.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -2 & 3 & 2 & 1 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 2 & 4 & 1 & 4 \\ 5 & 1 & 1 & 7 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 3 & 5 & 6 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 4 & 12 & 2 & 1 & 4 & 1 & 3 \end{pmatrix}$$

Рисунок 1 – Исходная выборка

Рассмотрим сингулярное разложение матрицы M по формуле

$$M = ULV^T, \quad (1)$$

где L – матрица размера $m \times n$ с неотрицательными элементами, у которой элементы, лежащие на главной диагонали – это сингулярные числа (все элементы, не лежащие на главной диагонали, являются нулевыми), а матрицы U и V – это две унитарные матрицы, состоящие из левых и правых сингулярных векторов соответственно.

В компьютерной системе Wolfram Mathematica сингулярное разложение может быть получено с помощью следующей формулы:

$$\{u, l, v\} = \text{SingularValueDecomposition}[M1];$$

Приближенная матрица

$$M_k = U_k L_k V_k^T, \quad (2)$$

где U_k, L_k, V_k получаются из матриц сингулярного разложения отсечением до k первых столбцов.

Рассмотрим случай $k = 1$;

$$\text{For}[u1 = \text{Table}[0, \{i, 1, m\}, \{j, 1, n\}]; \\ j = 1, j \leq k, j++, \text{For}[i = 1, i \leq m, i++, u1[[i, j]] = u[[i, j]]]]$$

$$\text{For}[v1 = \text{Table}[0, \{i, 1, m\}, \{j, 1, n\}]; \\ j = 1, j \leq k, j++, \text{For}[i = 1, i \leq m, i++, v1[[i, j]] = v[[i, j]]]]$$

$$\text{For}[l1 = \text{Table}[0, \{i, 1, m\}, \{j, 1, n\}]; \\ j = 1, j \leq k, j++, l1[[j, j]] = l[[j, j]]]$$

Команда `ArrayPlot[Abs[M1-M2]/Chop]` позволяет графически выделить аномальные значения матрицы (рис. 2).



Рисунок 2 – Аномальные значения, выделенные темным цветом

Элементы, которые сильно отличаются от соответствующих элементов матрицы небольшого ранга, будут считаться аномальными.

Процесс выявления аномалий является очень важным вопросом в задачах предсказания поломок оборудования, выявления аномального спроса на потребляемую продукцию, выявления нестандартного поведения информационно-измерительной системы. В компьютерной системе Mathematica имеются встроенные функции анализа аномальных значений выборки, также существует возможность реализации пользовательских алгоритмов для обрабатывать массивы большого объема.

Литература

1. Шкодырев, В. П. Обзор методов обнаружения аномалий в потоках данных / В. П. Шкодырев // Second Conference on Software Engineering and Information Management. – 2017. – С. 50.

2. Большая советская энциклопедия: [В 30 т.] ; гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е. изд. – М.: Сов. энцикл., 1969–1978.

3. Вайнер, Э. Н. Краткий энциклопедический словарь: Адаптивная физическая культура : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям "Адаптивная физическая культура" и " Физическая культура" / Э. Н. Вайнер, С. А. Кастионин. – Москва : Флинта, 2003. – 144 с.

4. Коджаспирова, Г. М. Для студ. высш. и сред. пед. учеб. заведений // Г. М. Коджаспирова, А. Ю. Коджаспиров. – М.: Издательский центр «Академия», 2000. – 176 с.

5. Дрешин, М. Г. Норма и аномалия в социальном развитии : дис. ... канд. Филос. наук : 09.00.11 / М. Г. Дрешин. – Ростов-на-Дону, 2010. – 151 с.

УДК 004+51

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РАССТОЯНИЯ МАХАЛАНОВИСА

Гундина М.А.¹, Жданович М.Н.², Каменко Д.А.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²«Отраслевая лаборатория новых технологий и материалов»

ОАО "ИНТЕГРАЛ" – управляющая компания холдинга "ИНТЕГРАЛ"

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной статье рассматривается реализация алгоритма выявления аномальных значений выборки с помощью расстояния Махалановиса, реализованных в компьютерной системе Wolfram Mathematica.

Ключевые слова: аномальное значение, выборка, расстояние Махалановиса, компьютерная система Wolfram Mathematica.

DETERMINATION OF ANOMALOUS SAMPLE VALUES USING THE MAHALANOBIS DISTANCE

Hundzina M.¹, Zhdanovich M.², Kamenka D.¹

¹Belarusian National Technical University

²«Branch laboratory of technologies and materials»

JSC "INTEGRAL" – the management company of the holding "INTEGRAL"

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. This article discusses the implementation of some statistical algorithms for detecting anomalous sample values by Mahalanobis distance, implemented in a computer system Wolfram Mathematica.

Key words: anomalous value, sample, Mahalanobis distance, computer system.

Адрес для переписки: Гундина М.А., пр. Независимости, 65, Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: hundzina@bntu.by

Известно, что единицы статистической совокупности, у которых значения анализируемого признака существенно отклоняются от основного набора данных, называются аномальными значениями.

Причины возникновения аномальных значений могут быть разной природы: сбои при измерениях и регистрации данных, резкие отклонения условий наблюдений и др. Наличие аномальных результатов может привести к недостоверным результатам при оценивании и контроле соответствия характеристик системы предъявляемым

требованиям. Поэтому необходимо выявлять и устранять аномальные результаты измерений [1].

Степень аномальности значения может определяться по значению расстояния Махалановиса. Эта величина в математической статистике является мерой расстояния между векторами случайных величин, обобщает понятие евклидова расстояния.

В задаче определения принадлежности точки одному из классов необходимо найти матрицы ковариации всех классов, что, обычно, делается на основе известных выборок из каждого класса.