

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТРИК РАССТОЯНИЯ СДВИГОВЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ПОЧТИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.А. Парамонов, А.В. Калач

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»

Аннотация. По сей день мировая общественность сталкивается с проблемами возникновения чрезвычайных ситуаций, реагирования на них, а также моделирования и прогнозирования развития такого рода процессов. Обработка данных по причинам возникновения чрезвычайных ситуаций имеют критически важное значение для обеспечения безопасности населения, а также минимизации последствий разрушительных событий, вызванных источниками опасных ситуаций. Анализ накопленных исторических данных о чрезвычайных ситуациях и причинах их возникновения даёт возможность выявить и изучить систематические факторы динамики развития чрезвычайных ситуаций.

Одним из основных источников, вызывающих чрезвычайные ситуации, являются тропические циклоны. Данные природные явления характеризуются сильными ветрами, значительными осадками, а в прибрежных регионах и возникновением штормовых приливов. В настоящее время наблюдение за тропическими циклонами осуществляется в основном методами дистанционного спутникового зондирования, что ставит перед исследователями задачу по реализации и применению методов обработки и моделирования медиа данных. Большая часть методов и исследований направлена на анализ движения тропического циклона, то есть динамику его развития по скорости и направления движения. В данной статье рассматривается подход анализа динамики развития структуры тайфуна на основе почти периодического анализа.

В работе рассматривается применения метрик расстояния, лежащих в основе сдвиговых функций – основного инструмента почти периодического анализа данных с упорядоченным аргументом. Приведены некоторые из метрик расстояния для сдвиговой функции и проведён анализ изображений тропического циклона "Нанмандол" при различных метриках оценки расстояния. Полученные результаты показали независимость получаемых почти периодов от вида применяемой метрики расстояния в сдвиговой функции.

Ключевые слова: почти период, анализ данных, обработка изображений, чрезвычайная ситуация, тропические циклоны, метрики.

APPLICATION OF SHIFT FUNCTION DISTANCE METRICS FOR NEAR PERIODIC ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES

A.A. Paramonov, A.V. Kalach

MIREA - Russian Technological University

Abstract. To this day, the world community faces the problems of emergencies, response to them, as well as modeling and forecasting the development of such processes. Processing data on

the causes of emergencies is critical to ensure the safety of the population, as well as to minimize the consequences of devastating events caused by the sources of dangerous situations. Analyzing accumulated historical data on emergencies and their causes makes it possible to identify and study systematic factors in the dynamics of emergency development.

One of the main sources causing emergencies is tropical cyclones. These natural phenomena are characterized by strong winds, significant precipitation and, in coastal regions, storm surges. At present, the observation of tropical cyclones is mainly carried out by satellite remote sensing methods, which poses a challenge to researchers to implement and apply methods of media data processing and modeling. Most of the methods and studies are aimed at analyzing the motion of a tropical cyclone, i.e., the dynamics of its development in terms of speed and direction of motion. This paper discusses the approach of analyzing the dynamics of typhoon structure development based on near periodic analysis.

This paper considers the application of distance metrics underlying shift functions - the main tool for almost periodic analysis of data with an ordered argument. Some of the distance metrics for the shear function are presented and images of tropical cyclone Nanmandol are analyzed under different distance estimation metrics. The results showed the independence of the obtained almost periods from the type of applied distance metric in the shear function.

Keywords: almost period, data analysis, image processing, emergency situation, tropical cyclones, metrics.

Структурный анализ исследуемых объектов, представленных в фото и видео форматах, позволяет выявить ключевые характеристики исследуемой структуры, а также критические уровни изменения в развитии исследуемой системы. В представленной работе предлагается сравнительная характеристика полученных результатов численного эксперимента, связанного с обработкой изображений с тропическими циклонами.

Тропические циклоны являются разрушительными стихийными явлениями, угрожающие как жизни людей, так и инфраструктурам государств, в первую очередь, граничащих, с Тихим океаном, где и происходят основные очаги зарождения тайфунов с дальнейшим их передвижением на сушу.

Чрезвычайные ситуации, возникающие с протеканием природного процесса, являются важным объектом для их изучения. Так, в статье [1] рассматривается оперативно - тактическая характеристика объекта массового пребывания людей в виде Киноконцертного зала «Октябрь» в городе Липецк. Авторами выполнен расчет требуемого количества оборудования, техники и численность личного состава для тушения и защиты помещений рассматриваемого объекта. На основе выполненных расчетов сделан вывод о том, что сил и средств для тушения пожаров смоделированных по первому или второму вариантам развития возможного пожара достаточно, привлечение дополнительных сил и средств по второму рангу пожара не является необходимым.

Ещё одним примером изучения к вопросу моделирования поведения динамики стихийного процесса является работа [2]. В статье рассмотрен возможный вариант развития пожаров в торгово-развлекательном центре с точки зрения решения инженерной задачи. В данной работе при расчете обеспечения ресурсами пожарных подразделений при тушении пожара на примере исследуемого объекта, предложена математическая модель,

относящаяся к структурной модели, где объект представляют, как систему со своим устройством и механизмом функционирования. Разработана схема расстановки сил и средств на момент локализации пожара в соответствии с выбранным сценарием развития пожара.

Переходя к вопросу о тропических циклонах, важной сферой жизнедеятельности людей является транспортная система, в частности, воздушно-транспортная сеть, которая очень сильно зависит от погодных условий, что является и следствием для обеспечения безопасности полётов. В исследовании [3] представлен анализ особенностей информационного и математического моделирования процесса управления обеспечением безопасности полетов. По результатам работы приводится математическая модель, сущность которой заключается в активном выявлении и прогнозировании возникновения опасных факторов летной деятельности до их проявления в полете. Модель включает в себя учет эффективности обеспечения безопасности полетов различными организационными группами на нескольких этапах подготовки полетов, а также анализ эффективности деятельности должностных лиц, что является достаточно важным фактором, поскольку люди до сих пор являются ключевыми представителями ролей за принятие решений. На основе предлагаемой математической модели была разработана система управления безопасностью полетов, которая предназначена для постоянного влияния на устранение опасных факторов, как на земле, так и в воздухе.

В представленной работе рассматривается подход почти периодического анализа на основе сдвиговой функции. Метод эффективно себя показал в результате обработки временных рядов, больших объёмов данных, чья природа относилась к погодным факторам [4]. На основе математического аппарата данного подхода к анализу систем с упорядоченным аргументом был реализован программный комплекс [5].

В основе подхода лежит понятие о сдвиговой функции, представляющей собой оценку расстояния между измеряемыми значениями исследуемого ряда. Для дискретного случая, когда исследуемая функция $y(t)$ представлена набором значений в фиксированный момент времени – y_t , тогда для такой функции сдвиговая функция будет иметь вид

$$a(\tau) = \frac{1}{n - \tau} \cdot \sum_{t=1}^{n-\tau} |y_{t+\tau} - y_t|, \quad (1)$$

где n — общее число отсчётов функции y_t ;

t — целые положительные и отрицательные числа, включая ноль;

τ — целое положительное число, значения почти-периодов.

Данный вид справедлив при использовании оценки модульного расстояния:

$$\rho(x, z) = \sum_{t=1}^n |x_t - z_t|. \quad (2)$$

При использовании квадратичной метрики расстояния (3), сдвиговая функция будет иметь вид (4)

$$\rho(x, z) = \sqrt{\sum_{t=1}^n (x_t - z_t)^2}, \quad (3)$$

$$a(\tau) = \frac{1}{n - \tau} \cdot \sqrt{\sum_{t=1}^{n-\tau} (y_{t+\tau} - y_t)^2}. \quad (4)$$

Особенность оценки рядов с упорядоченным аргументом состоит в независимости выбора метрики расстояния для получения ключевых почти периодических значений в структуре исследуемого ряда.

В качестве подтверждения полученных результатов были взяты изображения тропического циклона "Нанмандол", обрушившийся на берега Японии и Южной Кореи в сентябре 2022 года. Исходный фрагмент тропического циклона представлен на рис. 1.



Рисунок 1 – Структура тропического циклона

Для применения аппарата сдвиговой функции каждое изображение переводилось в полярные координаты, ввиду специфики структуры изучаемого объекта, после чего, относительно центра тайфуна происходило его преобразование в полярные координаты, результаты преобразований представлены на рис. 2.

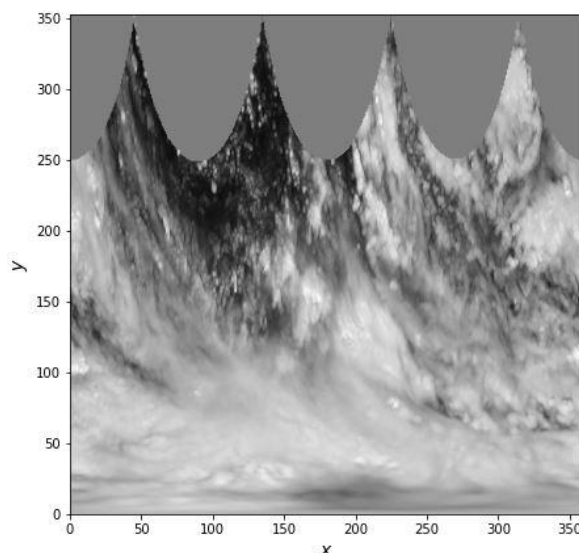


Рисунок 2 – Структура тропического циклона в полярных координатах

Для полученного изображения при фиксированных значениях полярных углов (значения по оси ОХ), применяем аппарат сдвиговых функций на соответствующий набор значений радиус-векторов на основе (1) и (4). Полученные результаты представлены на рис. 3 и рис. 4, соответственно.

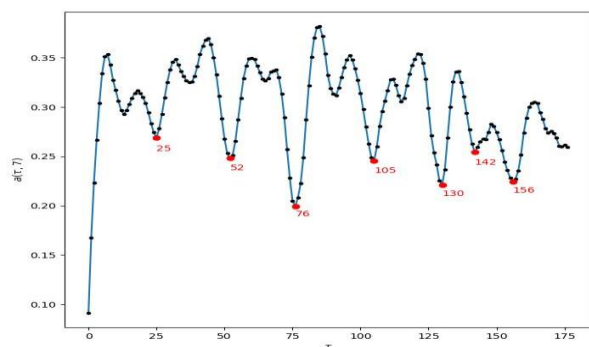


Рисунок 3 – Сдвиговая функция на основе (1)

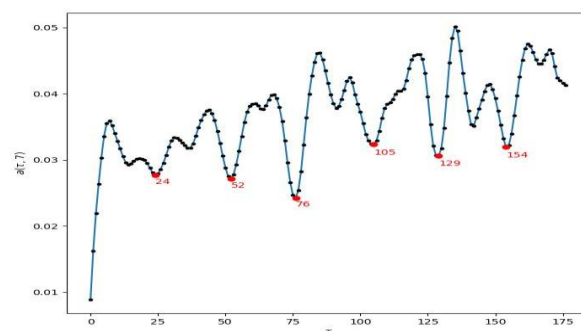


Рисунок 4 – Сдвиговая функция на основе (4)

Пример реализации кратных значений полученных почти периодических радиус-векторов отображены на исходном изображении на примере ярко выраженного значения почти периода 76 (рис. 5).

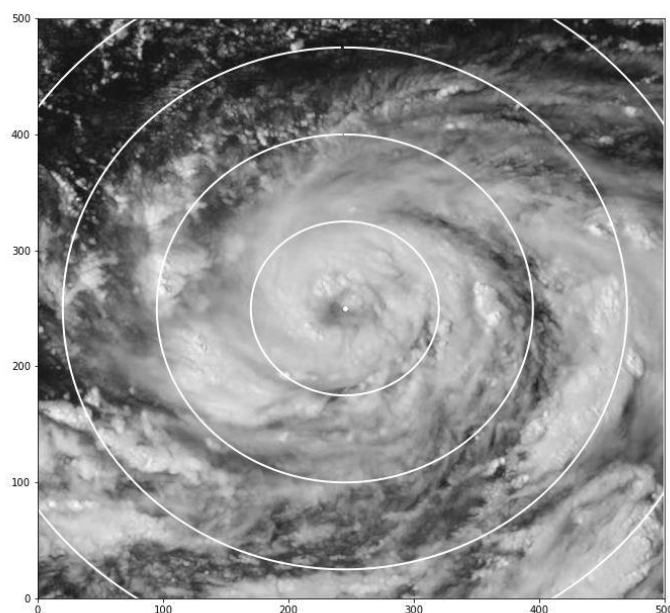


Рисунок 5 – Кратные почти периодическому радиус-вектору 75 окружности на исходном изображении в чёрно-белом формате

Таким образом, в результате применения математического аппарата сдвиговых функций для выявления в структурах с упорядоченным аргументом почти периодических компонент, было получено, что вне зависимости от основания метрики рассеяния, которая ложится в основу сдвиговой функции, получаемые характерные значения почти периодов остаются без изменений.

Список литературы

1. Сазонова, С. А. Моделирование вариантов развития пожара на объекте массового пребывания людей / С. А. Сазонова, Т. В. Зязина, В. А. Горюнов // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 69-81.
2. Сазонова, С. А. Моделирование возможной обстановки при пожаре на объектах с массовым пребыванием людей / С. А. Сазонова, Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, Н. В. Мозговой, А. А. Осипов, Е. В. Дружинина, С. Н. Кораблин // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 85-96.
3. Шипилова, Е. А. Математическое моделирование и программная реализация процесса управления обеспечением безопасности полетов и деятельностью авиационного персонала / Е. А. Шипилова, А. А. Платонов, Р. Ф. Равлык, А. А. Господ // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 100-109.
4. Парамонов, А. А. Современные аспекты анализа больших данных с упорядоченным аргументом / А. А. Парамонов, Т. Е. Смоленцева, А. В. Калач // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики : сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 04–06 декабря 2023 года. – Воронеж: ООО "Вэлборн", Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2024. – С. 609-613.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024663550 Российская Федерация. «Программа для определения почти-периодов в эмпирических данных с упорядоченным аргументом на основе сдвиговой функции» : № 2024661738 : заявл. 21.05.2024 : опубл. 07.06.2024 / Б. А. Крынецкий, В. А. Данилова, А. А. Парамонов [и др.] ; заявитель Федеральное казенное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний».

References

1. Sazonova S.A., Zyazina T.V., Goryunov V.A. Modeling of variants of fire development at the object of mass stay of people // Modeling of systems and processes. - 2022. - V. 15, № 3. - pp. 69-81.

2. Sazonova, S.A.; Epifanov, E.N.; Asminin, V.F.; Mozgovoy, N.V.; Osipov, A.A.; Druzhinina, E.V.; Korablin, S.N. Modeling of a possible situation at a fire at the objects with a mass stay of people (in Russian) // Modeling of systems and processes. - 2022. - V. 15, № 1. - pp. 85-96.

3. Shipilova, E.A.; Platonov, A.A.; Ravlyk, R.F.; Lord, A.A. Mathematical modeling and program realization of the process of the flight safety and aviation personnel activity management (in Russian) // Modeling of systems and processes. - 2022. - V. 15, № 2. - pp. 100-109.

4. Paramonov, A. A. Modern aspects of big data analysis with an ordered argument / A. A. Paramonov, T. E. Smolentseva, A. V. Kalach // Actual problems of applied mathematics, computer science and mechanics : proceedings of the International Scientific Conference, Voronezh, December 04-06, 2023. - Voronezh: LLCcompany "Welborn", Publishing House "Research Publications", 2024. - pp. 609-613.

5. Certificate of State Registration of Computer Program No. 2024663550 Russian Federation. "Program for determination of near-periods in empirical data with ordered argument on the basis of shift function" : No. 2024661738 : filed. 21.05.2024 : published 07.06.2024 / B. A. Krynetsky, V. A. Danilova, A. A. Paramonov [et al.] ; applicant Federal State Educational Institution of Higher Education "Voronezh Institute of the Federal Service for the Execution of Punishments".