

ПАРИРОВАНИЕ ДЕСТРУКТИВНЫХ СОБЫТИЙ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ

Сухов А.В.¹, Глущенко А.А.²

Ключевые слова: эргатическая система, детерминированный хаос, информационное пространство, отображение последования Пуанкаре, странный аттрактор, энтропия покрытия.

Аннотация

Цель работы: определение структуры предельных множеств орбит Пуанкаре в информационном пространстве для квазипериодических траекторий вектора состояния динамической системы.

Метод исследования: замена потока динамической системы с непрерывным временем отображением последования Пуанкаре в информационном пространстве, основанном на энтропии покрытия.

Результаты исследования: получены структуры и размерности предельных множеств для орбит Пуанкаре динамической системы сингулярных последовательностей событий в информационном пространстве и на этой основе получены выводы об их устойчивом поведении.

Рассматриваются методы анализа воздействия на технологический процесс, представляющий собой цепочку состояний в отдельной реализации, сингулярной последовательности деструктивных факторов.

Такое исследование позволяет выявлять, классифицировать, предсказывать и устранять деструктивные воздействия случайных факторов разной физической природы и тем самым повышать устойчивость функционирования системы управления сложным технологическим процессом.

DOI: 10.24412/1994-1404-2025-4-39-45

Введение

Эргатическая система, представляющая собой сложную систему управления объектами технических, технологических, организационных и экономических комплексов, характеризующаяся функциональной активностью и функциональным гомеостазисом на множестве функциональных возможностей в условиях динамически изменяющейся внешней среды [1].

Системы принятия решений на основе информации многопараметрических эргатических систем требуют структурирования и формализации идентификационных признаков. При этом процессы изменения характеристик этих признаков часто носят характер динамического хаоса [2].

Примером информационного проявления многопараметрической динамической системы такого рода является технологический процесс (ТП), представляющий собой цепочку состояний в отдельной реализации, представляемую на прямоугольной решётке индексов — идентификационной решётке (ИР). Осо-

бенностью такого представления является то, что задействованы все основные составляющие ситуаций и состояний ТП, между которыми существует неявная связь, объединяющая отдельные параметры в комплексную систему. Признаки аномального воздействия как правило не проявляются в виде, доступном для оперативного анализа. В связи с этим актуальной является разработка специальных методов и соответствующего математического аппарата для идентификации сингулярных последовательностей аномальных событий в информационном пространстве ТП.

В ряде работ [2-4] даны методические подходы к разработке математических моделей системы идентификационных признаков, позволяющих осуществлять идентификацию сингулярных последовательностей признаков аномальных событий в информационном пространстве многопараметрических динамических систем.

Вопросам системного информационного анализа многопараметрических эргатических систем посвящен

¹ Сухов Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения «27 ЦНИИ» Минобороны России, г. Москва, Россия.

E-mail: avs57@mail.ru

² Глущенко Александр Александрович, кандидат технических наук, докторант федерального государственного бюджетного учреждения «27 ЦНИИ» Минобороны России, г. Москва, Россия.

E-mail: alexglu@mail.ru

ряд работ [5–7], в которых рассматриваются общие методические подходы к описанию динамических эргасистем и процессов. Теория динамики стохастических систем представлена в работах зарубежных авторов [2, 8].

Динамика сингулярных последовательностей

Динамическая система сингулярных последовательностей событий (ССПС) может быть описана уравнениями наблюдения и состояния.

Для уравнения состояния будем использовать дифференциальные уравнения в форме Стратоновича [9]. В общем случае они имеют вид:

$$\dot{X}(t) = f(X(t)u(t), t) + n_x(t), \quad (1)$$

где X — вектор признаков сингулярной последовательности;

$f(X(t), u(t), t)$ — некоторая векторная функция;

$n_x(t)$ — векторный белый гауссовский шум с параметрами

$$M(n_x) = 0, \quad (2)$$

$$M(n(t_1), n(t_2)) = \frac{N_x}{2} \delta(t_2 - t_1); \quad (3)$$

N_x — односторонняя спектральная плотность мощности процесса $X(t)$ по Фурье;

$\delta(\cdot)$ — дельта-функция.

Уравнение наблюдения имеет вид:

$$z(t) = H(X(t), t) + n(t), \quad (4)$$

где $H(X(t), t)$ — функция наблюдения сингулярной последовательности;

$n(t)$ — гауссовский шум по наблюдению с параметрами, аналогичными (2) — (3).

Динамика сингулярных последовательностей на признаковой ИР в дискретном времени может быть представлена отображением последования Пуанкаре³. При этом узлами решётки будет являться набор признаков процесса [2, 4]:

$$\Pi = \{X \in R^m \times S, z \in R | X(0) = X_0\}, \quad (5)$$

где X — вектор признаков последовательности;

R^m — m -мерное пространство действительных чисел;

S — гиперплоскость набора признаков.

Анализ предельных множеств сингулярных последовательностей событий

Реальное функционирование ССПС возможно только в условиях колмогоровской турбулентности. При этом как у всякой динамической системы выделяют переходный и установившийся режим работы. В переходном режиме работы возможны сбои системы вследствие высокой чувствительности к возмущающим факторам из-за недостаточной накопленной информации о реальном состоянии системы и среды ее функционирования. По мере накопления этой информации

наступает установившийся режим работы, сопровождающийся определенным постоянством некоторых показателей работы системы. А процесс достижения установившегося режима называется переходным процессом.

В установившемся режиме работы можно выделить предельные точки Y для вектора состояния X [9]. Точка Y является предельной точкой для X , если для каждой окрестности U точки Y траектория $X(t)$ неоднократно попадает в окрестность U при $t \rightarrow \infty$.

Множество всех предельных точек для X называется предельным множеством $L(X)$ для X . Предельные множества являются замкнутыми и инвариантными относительно $X(t)$.

Предельное множество L является притягивающим, если существует открытая окрестность U множества L такая, что $L(X) = L$ для всех X , принадлежащих U .

Бассейном притяжения $B(L)$ притягивающего множества L называется объединение всех таких окрестностей U . Каждая траектория $X(t)$, берущая начало в бассейне $B(L)$, стремится к L при $t \rightarrow \infty$.

Понятие предельных множеств позволяет классифицировать поведение ССПС в установившемся режиме работы. Однако их вид для стохастических следящих систем довольно сложен и исторически сложилось так, что для описания объекта, в котором траектории накапливаются, используется термин «странный аттрактор».

Для нашего случая важно описать хаотическое поведение ССПС. Предельное множество для траекторий систем с хаотическим поведением не может иметь вид простого геометрического объекта (например, эллипсоида или тора), и по своей структуре подобно фракталам и канторовым множествам [2, 5].

Другим свойством стохастических систем является высокая чувствительность к вариациям начальных условий. Это означает, что если заданы две различные начальные точки, сколь угодно близко расположенные друг относительно друга, то траектории, исходящие из этих точек, будут расходиться (с некоторой скоростью, определяемой характеристиками системы) до тех пор, пока они не перестанут быть коррелированными в соответствии с выбранным практическим критерием корреляции. Это свойство определяет другой важный вывод — независимо от того, сколь точно известно начальное условие, долговременное поведение стохастической системы никогда не может быть спрогнозировано. Таким образом, даже система с детерминированной структурой при воздействии на нее случайных факторов обладает непредсказуемостью поведения. Системы, описываемые нелинейными уравнениями состояния, определяют вектор управления $U(t)$ как случайный процесс.

Обозначим $G(t)$ решение системы (1), т. е. $G(t)$ — это траектория системы с учетом конкретных начальных условий, или поток вектора X . Возможны два варианта потока $G(t)$ — это сжимающий и растягивающий потоки. При сжимающем потоке происходит разруше-

³ В теории динамических систем, разделе математики, отображение Пуанкаре (также отображение последования, отображение первого возвращения) — это проекция некоторой площадки в фазовом пространстве на себя (или на другую площадку) вдоль траекторий (фазовых кривых) системы.

ние информации о системе, т.к. ε -окрестность точки $X(t_1)$ в момент времени $t_2 > t_1$ отобразится в меньшую по объему ε -окрестность. Это означает, что при равных ε -отклонениях от истинного значения X в моменты времени t_1 и t_2 наблюдатель по ε -отклонению в момент времени t_1 предскажет более точно состояние системы в момент времени t_2 . И, наоборот, при растягивающем потоке отображенная ε -окрестность в момент времени $t_2 > t_1$ будет иметь больший объем, чем исходная ε -окрестность, что характеризует процесс накопления информации. Эти две ситуации представлены на рис. 1.

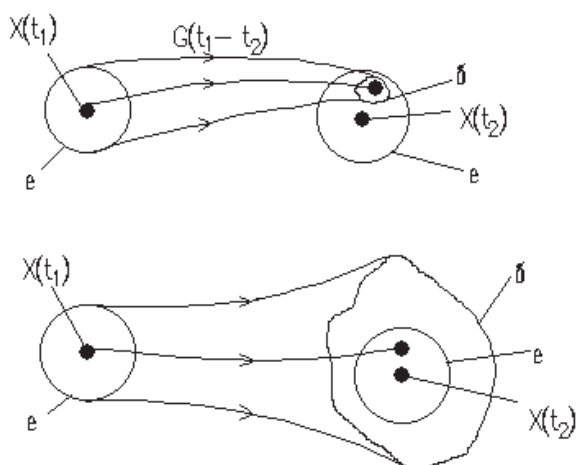


Рис. 1. Сжимающий и растягивающий потоки решения стохастической системы $G(t)$

Классический метод анализа динамических систем разработан французским математиком Анри Пуанкаре [2, 9]. Он основывается на замене потока динамической системы с непрерывным временем некоторым отображением, называемым отображением Пуанкаре.

В соответствии с выражением (1) наша система относится к автономным системам и поэтому приведем отображения Пуанкаре для автономных систем (для неавтономных систем имеются отличия) при отсутствии случайных воздействий. Пусть она имеет n -й порядок с предельным множеством L . Пусть X^* — некоторая точка на этом множестве, а T — минимальный период на L . Возьмем $(n-1)$ -мерную гиперплоскость S , трансверсальную L в точке X^* . По истечении времени T траектория системы $G(T)$, исходящая из точки X^* , пересечет S в точке X^* . Вследствие условия плотности множества L в любой сколь угодно малой окрестности любой точки множества, траектории, начинающиеся в некоторой достаточно малой окрестности U точки X^* , приблизительно через время T пересекут гиперплоскость S вблизи точки X^* . Следовательно, (1) и S определяют отображение P некоторой окрестности $U \in S$ точки X^* на другую окрестность $V \in S$ точки X^* :

$$P: u \rightarrow v, u \in S, v \in S. \quad (6)$$

Отображение P называется отображением последования Пуанкаре. На рис. 2 представлена иллюстрация указанных положений, а также приведена последовательность точек $(X_1, X_2, X_3, X_4, \dots)$, образуемых предель-

ным циклом и поверхностью S . Эта последовательность точек образует орбиту динамической системы.

При этом отображение P является диффеоморфизмом, т.е. допускает обратную функцию P^{-1} [2, 11].

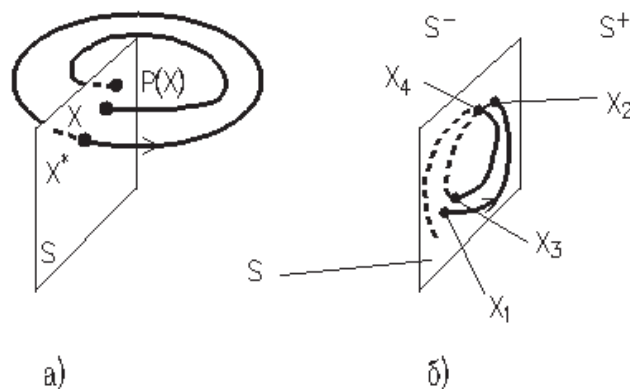


Рис. 2. Отображение последования Пуанкаре

Приведенное определение для стохастических следящих систем не подходит, поскольку требует знания положения предельного множества, которое, как указывалось выше, аналитически описывается тяжело или не может быть описано. Поэтому зададим $(n-1)$ -мерную плоскость S следующим образом:

$$S = \{X: h^T \times (X - X_S) = 0\}, \quad (7)$$

где h — вектор, нормальный к гиперплоскости S ; X_S — некоторая точка, лежащая на этой гиперплоскости.

Если гиперплоскость S выбрана правильно, исследуемая траектория будет многократно пересекать S . Причем пересечения только с одной стороны образуют две области S^- и S^+ , называемые односторонними отображениями последования Пуанкаре

$$S^+ = X: h(X - X_S) > 0, \quad (8)$$

$$S^- = X: h(X - X_S) < 0. \quad (9)$$

Вся последовательность точек пересечения гиперплоскости безотносительно к направлению перехода из одной области в другую определяет двустороннее отображение последования Пуанкаре.

Орбиты Пуанкаре для стохастических систем обладают следующими особенностями:

в установившемся состоянии орбиты не располагаются на каком-либо простом геометрическом объекте, получаемый при этом странный аттрактор имеет тонкую, как бы многослойную структуру.

Важное место в анализе стохастических следящих систем занимает понятие устойчивости, введенное А.М. Ляпуновым. Для решения $G(t)$ динамической системы:

$$\dot{X} = F[X(t), t], X(t_0) = X_0, \quad (10)$$

различают два понятия устойчивости — асимптотическая и устойчивость по Ляпунову.

Но не всегда говорят об устойчивости решений динамической системы. При введенных понятиях о предельных множествах можно оценить устойчивость точек этих множеств. В этих целях используют показатели Ляпунова [10], которые в принципе являются характе-

ристическими числами фундаментальной матрицы. Здесь только скажем, что в случае, когда все эти числа меньше нуля, предельное множество является асимптотически устойчивым. В общем случае, для странных аттракторов не все показатели Ляпунова должны быть обязательно отрицательными, но их сумма должна быть меньше нуля.

Выше говорилось, что любая окрестность точки странного аттрактора имеет сложную структуру и не может рассматриваться в качестве евклидова пространства. Иными словами, странные аттракторы являются многообразиями, и их размерность не может быть охарактеризована целым числом.

Известно несколько способов определения размерности для случая дробного числа, например емкость, корреляционная размерность, информационная размерность и размерность по Ляпунову [2, 9, 11]. Мы рассмотрим емкость с целью уяснения понятия размерности и информационную размерность, хорошо характеризующую странные аттракторы в рассматриваемом случае.

Емкость представляет собой простейший тип размерности. В основе этого понятия лежит принцип покрытия тела аттрактора малыми элементами объема с радиусом ε . Этими элементами могут являться сферы, кубы и т. д. В случае покрытия n -мерного тела (с целой размерностью) такими элементами, их количество будет пропорционально ε^{-n} . Обозначим число этих элементов через $N(\varepsilon)$. Устремим ε к нулю и возьмем предел

$$D_{cap} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln(\frac{1}{\varepsilon})}, \quad (11)$$

который называют емкостью или фрактальной размерностью. Если этот предел не существует, говорят, что размерность D_{cap} не определена.

Понятие информационной размерности является вероятностным и учитывает поведение системы во времени. В основе его лежит частота попадания какой-либо траектории системы в заданную область. Для определения информационной размерности так же, как и в предыдущем случае, будем покрывать странный аттрактор малыми элементами объема с радиусом ε и перейдем к пределу по ε , только в числителе возьмем логарифм от энтропии $S(\varepsilon)$

$$D_i = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln S(\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)}, \quad (12)$$

где

$$S(\varepsilon) = - \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} P_i \ln P_i, \quad (13)$$

где P_i — относительная частота, с которой траектория попадает в i -й элемент объема рассматриваемого покрытия.

Из выражения (13) видно, что энтропия характеризует количество информации, необходимой для задания состояния системы с точностью ε .

С другой стороны, если рассматривать реальное (измеренное) значение $G(\varepsilon)$ по отношению к нормативному (заданному) значению $G_n(\varepsilon)$ в этой же области

$E, \forall i: \varepsilon_i \in E$, то от шенноновской энтропии (13) перейдем к энтропии покрытия:

$$S_{\Pi}(\varepsilon) = \log \frac{\|G(\varepsilon) \setminus G_n\|}{\|G_n\|}, \quad (14)$$

где $\|\cdot\|$ — норма множества значений функции $G(\varepsilon)$ в ограниченном пространстве значений E , $(\cdot \setminus \cdot)$ — операция разности множеств.

Основание логарифма в (14) определяет единицы измерения энтропии покрытия.

Понятие размерности является удобным средством классификации аттракторов, при этом простые аттракторы имеют целую размерность, а странные аттракторы — дробную. Аттрактор, получаемый в результате отображения последования Пуанкаре и имеющий размерность D , соответствует аттрактору исходного потока с размерностью $D+1$. Например, если аттрактор отображения последования Пуанкаре имеет вид замкнутой кривой с размерностью 1, то аттрактор исходного потока имеет вид тора с размерностью 2.

Различные определения размерности могут привести к разным количественным оценкам. Емкость наиболее понятна физически, однако аттрактор при этом рассматривается как некий неподвижный геометрический объект и игнорируется существование связанного с ним динамического потока. Поэтому при проведении экспериментальных исследований и моделировании на ЭВМ могут быть зарегистрированы лишь некоторые типичные траектории на конечных интервалах времени. Это приводит к ограниченному применению емкости для практических ситуаций.

Информационная размерность предполагает взвешивание каждого элемента объема с коэффициентом, определяемым частотой попадания в него траектории. В литературе доказывается, что $D_{cap} < D_i$ [2, 9]. При этом необходимо, чтобы система функционировала достаточно долго.

В результате отметим, что детальное описание поведения вектора состояния позволяет оценить надежные характеристики системы в целом, и, в первую очередь, ее устойчивость. Кроме того, выявление предельных множеств (странных аттракторов), их сравнение с предельными множествами альтернативных систем, оценка размерности позволяют получить рабочие характеристики системы, выявить лучшую из возможных систем или найти пути улучшения рабочих характеристик систем. При этом в большинстве случаев для анализа достаточно использовать перспективные методы моделирования динамики систем на ЭВМ с использованием объектно-ориентированного подхода.

Информационный анализ сингулярных последовательностей

Для примера представления отображения последования Пуанкаре рассмотрим динамическую систему, описываемую дифференциальным уравнением второго порядка, например, движение космического аппарата (КА) вокруг Земли [12]:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = f(r, t, U), \quad (15)$$

где r — радиус-вектор от центра масс Земли на КА; U — параметр модели (потенциал).

Примером отображения последования Пуанкаре будет служить таблица значений угловых координат (азимут, угол места), наблюдаемых при слежении за КА с поверхности Земли. Результаты моделирования сол-

нечно-синхронной орбиты были преобразованы в значения энтропии покрытия в соответствии с (14) и представлены на рис. 3.

Для полученного отображения последования Пуанкаре рассчитано значение энтропии покрытия составляет 9,65 нат. Для сравнения энтропия равномерного распределения для заданного количества элементарных отсчётов имеет значение 10,67 нат.

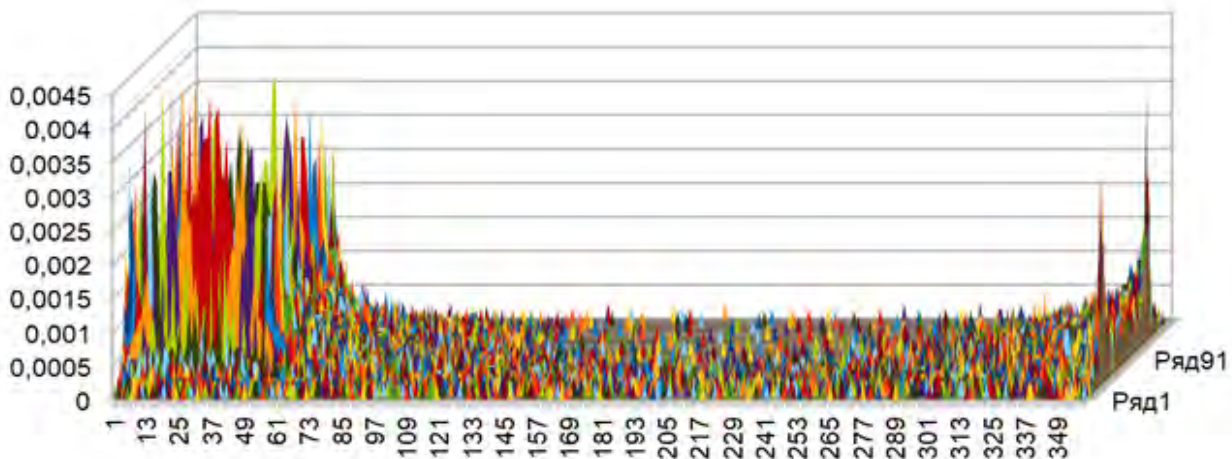


Рис. 3. Отображение последования Пуанкаре динамической системы

Бассейн притяжения и странный аттрактор расположены в районе границы наблюдения КА по азимуту (0 и 360 градусов).

Получены значения емкостной и информационной размерностей. Емкостная размерность составила значение 0,927, а информационная размерность составила значение 0,904. Видно, что информационная размерность меньше емкостной. Это объясняется более точным учётом параметров орбит Пуанкаре — не только факта попадания элемента орбиты в заданный элементарный объём, но и характеристик этого элемента. Необходимо отметить, что при равномерном распределении значение емкостной размерности составит значение единица.

Выводы

Проведено исследование динамической системы с позиций информационного исследования её динами-

ческих характеристик. В этих целях применено исследование, основанное на исследованиях параметров отображения последования Пуанкаре.

Полученные числовые характеристики для выбранной динамической модели движения КА характеризуют степень выраженности ситуации наблюдения КА для выбранной точки наблюдения. Так что полученные результаты могут охарактеризовать топологию мест размещения наблюдателей.

Полученные орбиты последовательностей при проведённом моделировании представляют собой детерминированный хаос. По этим орбитам возможно на основании странных аттракторов проводить анализ устойчивости динамики аномальных последовательностей.

В то же время в случае получения информационных орбит отображения последования Пуанкаре с недетерминированным хаосом сразу можно сделать вывод о непринадлежности последовательностей к классу, соответствующему признаковому синдрому.

Литература

1. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем. Тезаурус: монография. М. : Наука, 2005. 248 с. ISBN 5-02-033779-X.
2. Паркер Т.С. Введение в теорию хаотических систем для инженеров / Т.С. Паркер, Л.О. Чжуа // ТИИЭР. 1997. Т. 75, № 8. С. 6—40.
3. Сухов А.В., Конюшев В.В., Калилец А.А. Информационное моделирование идентификации серийного преступления // Правовая информатика. 2022. № 1. С. 24-31.

4. Сухов А.В., Конюшев В.В. Идентификация сингулярных последовательностей признаков аномальных явлений в информационном пространстве // Правовая информатика. 2023. № 2. С. 26—33.
5. Сухов А.В. Динамика информационных потоков в системе управления сложным техническим комплексом // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2000. № 4. С. 111—120.
6. Ловцов Д.А. Системология правового регулирования информационных отношений в инфосфере. М. : РГУП, 2016. 316 с. ISBN 978-5-93916-505-1.
7. Сухов А.В., Конюшев В.В. Системный анализ аномальных событий в информационном пространстве // Правовая информатика. 2024. № 1. С. 58—67.
8. HirSch M.W., SmaLe S. Differential EQuationS DYnamical SYstemS and Linear ALGeBra. New York, NY: AcaDemic PreSS, 1974.
9. Зайцев М.А., Сухов А.В. Модельно-алгоритмическое обеспечение информационных систем управления: монография. М. : Изд. «МУ им. С.Ю. Витте», 2016.
10. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. М. : Радио и связь, 1983. 320 с.
11. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. М. : Наука. Физматлит, 1987. 712 с.
12. Аксенов Е.П. Теория движения искусственных спутников Земли. М: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1977. 360 с.

SECTION:

INFORMATION PROTECTION METHODS AND SYSTEMS

PARRYING DESTRUCTIVE EVENTS IN INFORMATION ENVIRONMENT

Sukhov A.V.⁴, Glushchenko A.A.⁵

Keywords: *ergatic system, deterministic chaos, information space, Poincaré recurrence map, strange attractor, covering entropy.*

Abstract

Purpose of the study: *determining the structure of Poincaré orbits limit sets in the information space for quasiperiodic trajectories of the dynamic system state vector.*

Methods used in the study: *replacing the flow of a dynamic system with continuous time by a Poincaré recurrence map in the information space based on covering entropy.*

Study findings: *structures and dimensions of Poincaré orbits limit sets for the dynamic system of singular sequences of events in the information space are derived and conclusions about their stable behaviour were made based on this.*

Methods of analysing the impact on the technological process being a chain of states in a separate implementation, singular sequence of destructive factors, are considered.

The study makes it possible to identify, classify, predict, and eliminate the destructive effects of random factors of various physical nature, thus improving the stability of functioning for complex technological process management systems.

References

1. Lovcov D.A. Informacionnaja teorija jergasistem. Tezaurus: monografija. M. : Nauka, 2005. 248 s. ISBN 5-02-033779-H.
2. Parker T.S. Vvedenie v teoriju haoticheskikh sistem dlja inzhenerov / T.S. Parker, L.O. Chzhua // TIJeR. 1997. T. 75, № 8. S. 6—40.
3. Suhov A.V., Konjushev V.V., Kalilec A.A. Informacionnoe modelirovanie identifikacii serijnogo prestuplenija // Pravovaja informatika. 2022. № 1. S. 24-31.
4. Suhov A.V., Konjushev V.V. Identifikacija singuljarnyh posledovatel'nostej priznakov anomal'nyh javlenij v informacionnom prostranstve // Pravovaja informatika. 2023. № 2. S. 26—33.

⁴ **Andrey V. Sukhov**, Dr.Sc. of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher of the Federal State Budgetary Institution “27 Central Research Institute” of the Ministry of Defense of Russia, Moscow, Russia.

E-mail: avs57@mail.ru

⁵ **Alexander A. Glushchenko**, Ph.D. of Technical Sciences, doctoral student of the Federal State Budgetary Institution “27 Central Research Institute” of the Ministry of Defense of Russia, Moscow, Russia.

E-mail: alexglu@mail.ru

5. Suhov A.V. Dinamika informacionnyh potokov v sisteme upravlenija slozhnym tehničeskim kompleksom //Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Teorija i sistemy upravlenija. 2000. № 4. S. 111—120.
6. Lovcov D.A. Sistemologija pravovogo regulirovanija informacionnyh otnoshenij v infosfere. M. : RGUP, 2016. 316 s. ISBN 978-5-93916-505-1.
7. Suhov A.V., Konjushev V.V. Sistemnyj analiz anomal'nyh sobytij v informacionnom prostranstve // Pravovaja informatika. 2024. № 1. S. 58—67.
8. Hirsch M.W. and Smale S. Differential Equations Dynamical Systems and Linear Algebra. New York, NY: Academic Press, 1974.
9. Zajcev M.A., Suhov A.V. Model'no-algoritmicheskoe obespechenie informacionnyh sistem upravlenija: monografija. M. : Izd. «MU im. S.Ju. Vitte», 2016.
10. Tihonov V.I. Optimal'nyj priem signalov. M. : Radio i svjaz', 1983. 320 s.
11. Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravlenija / Pod red. A.A. Krasovskogo. M. : Nauka. Fizmatlit, 1987. 712 s.
12. Aksenov E.P. Teorija dvizhenija iskusstvennyh sputnikov Zemli. M: Nauka. Gl.red. fiz-mat. lit., 1977. 360 c.