

Отслеживание изменения состояния динамического объекта в реальном времени с использованием микропроцессорного модуля

С.И. Клевцов

Технологический институт Южного федерального университета

в г. Таганроге (ТТИ ЮФУ), sergkmps@mail.ru

Аннотация — Определена возможность использования диаграмм Пуанкаре для отслеживания изменения состояния технического объекта в реальном времени с помощью интеллектуального микропроцессорного модуля. Предложена структура обобщенной однофакторной модели отслеживания изменения состояния объекта на основе анализа изменения диаграмм Пуанкаре.

Ключевые слова — оценка состояния, модель, микропроцессорный модуль, реальное время.

I. ВВЕДЕНИЕ

В современных технических объектах повышение качества функционирования во многом связано с тем, насколько эффективно удается использовать ресурсы управления при возникновении различных нештатных ситуаций [1]. Одним из важнейших условий, способствующих этому, является осуществление достоверной оценки состояния объекта, адекватной возникшей ситуации [2]. Оценка состояния технического объекта осуществляется на основе анализа состояния его параметров, причем в ряде случаев можно выбрать один характерный параметр, определяющий состояние объекта в целом [3, 4].

Современное развитие микропроцессорной техники и ее использование для обработки данных, снимаемых с датчиков, делает постановку и реализацию такой задачи с использованием интеллектуальных микропроцессорных модулей актуальной и своевременной. Однако при этом необходимо учитывать особенности съема информации для прогнозирования, связанные с цифровой обработкой сигналов. Шаг дискретизации при съеме данных можно установить небольшим, чтобы изменение параметра в течение нескольких последовательных шагов было незначительным. Это позволит повысить точность оценки и снизить погрешности. Снижение погрешности также может быть обеспечено посредством компенсации влияния внешних факторов на показания датчика с помощью использования специальных алгоритмов обработки данных [5, 6].

Для оценки предлагается использовать диаграммы Пуанкаре [7]. Диаграмма Пуанкаре представляет собой точечное графическое отображение N значений временной последовательности x_k при $k = 1, \dots, N$ на дву-

мерном поле, в котором ординатой точки является значение x_{k+1} , а абсциссой – предшествующее значение x_k .

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАГРАММ ПУАНКАРЕ ДЛЯ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Как правило, диаграммы Пуанкаре используются при анализе данных стационарных объектов для выявления отклонений состояний этих объектов от нормального [7, 8]. Диаграммы Пуанкаре любых динамических процессов, отличных от шума, характеризуются асимметрией относительно центра или осей системы координат.

Используя диаграммы Пуанкаре, построим процедуру отслеживания изменения состояния объекта, принимая во внимание только временной ряд определяющего параметра объекта. При этом задача заключается в создании процедуры, обеспечивающей отслеживание изменения состояния объекта в режиме реального времени с использованием интеллектуального микропроцессорного модуля, имеющего ограничения по производительности и объему хранимой информации.

На рис. 1 представлены результаты измерения ускорения по оси X 3-х осевого акселерометра, установленного на автомобиле. Автомобиль, как технический объект, в условиях данного эксперимента рассматривается с позиции разомкнутой системы (системы управления по возмущению) [9,10].

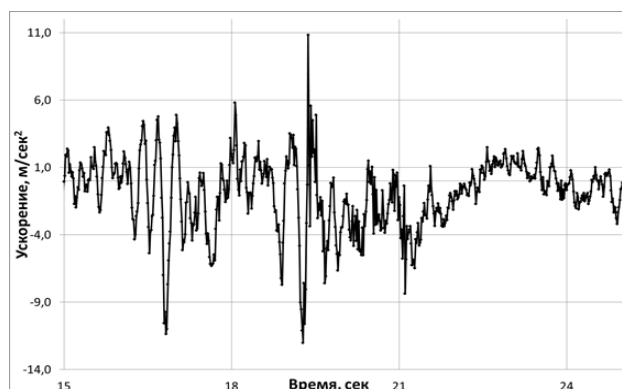


Рис. 1. Изменение ускорения автомобиля по оси X

Движение автомобиля в продольном направлении (в направлении поступательного движения автомобиля) осуществляется с тангенциальным и, следовательно, угловым ускорением, в среднем близким к нулевому. Также наблюдаются отдельные участки с незначительным, до 2 м/с^2 , отклонением ускорения от нулевого (с ~ 19 по ~ 22 секунды движения). Такое движение автомобиля определяет его устойчивое состояние (при условии, что центростремительное ускорение не превышает предельной величины) и характеризуется диаграммой Пуанкаре, приведенной на рис. 2. В данном случае рассматривается устойчивость автомобиля к заносу, а в качестве критерия устойчивости используется коэффициент боковой устойчивости [11].

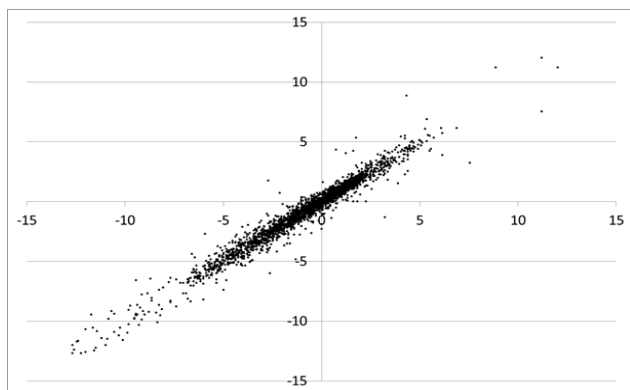


Рис. 2. Диаграмма Пуанкаре, соответствующая графику изменения ускорения автомобиля по оси X

Точки временного ряда на диаграмме располагаются вдоль тренда, представляющего прямую линию. Их совокупность немного несимметрична относительно центра координат, что говорит о незначительных отклонениях от устойчивого состояния.

Если же рассматривать временной ряд параметра объекта, характеризующий более высокую динамику изменения состояния объекта, то диаграмма Пуанкаре существенно меняется.

На рис. 3 представлены результаты измерения ускорения по оси Y 3-х осевого акселерометра, установленного на автомобиле, в процессе выполнения поворота налево.

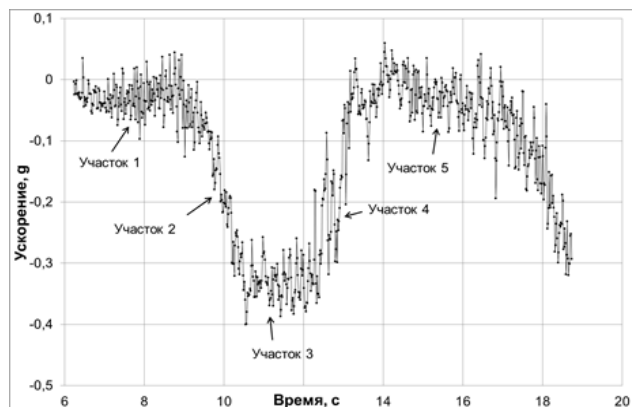


Рис. 3. Изменение ускорения автомобиля по оси Y

Участки 1 и 5 характеризуют прямолинейное движение без поперечной составляющей ускорения (по оси Y). Участки 2-4 идентифицируют поворот налево, причем в данном случае водитель проходил поворот рывками, что ухудшало устойчивость автомобиля на дороге. Ориентировочно скорость не превышала 35 км/час , радиус поворота – $25\text{-}30 \text{ м}$. Соответствующая движению диаграмма Пуанкаре представлена на рис. 4.

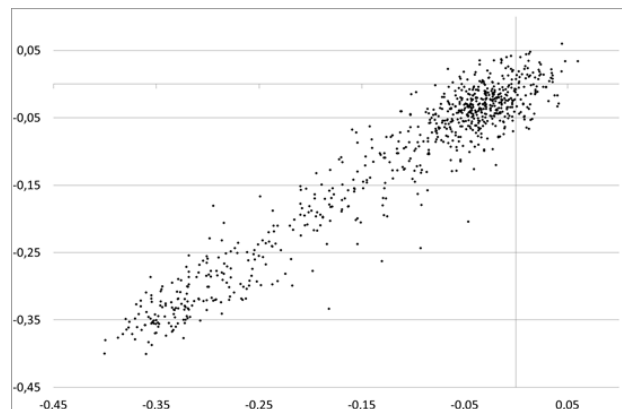


Рис. 4. Диаграмма Пуанкаре, соответствующая графику изменения ускорения автомобиля по оси Y при выполнении поворота

В отличие от диаграммы на рис. 2, данная диаграмма характеризуется большим разбросом значений и существенной несимметричностью относительно центра координат. Это говорит о движении объекта, отличным от равномерного в данном направлении и, соответственно, отклонении состояния объекта от состояния, характеризующего его стабильное движение без ускорения.

Как правило [7], при формировании диаграмм Пуанкаре наблюдаемого процесса используется очень большое количество временных отсчетов (точек), например, не менее $10\ 000\text{-}30\ 000$ [7, 8]. В случае динамических процессов нас может интересовать текущее изменение состояния объекта, например, изменение состояния за небольшой промежуток времени, когда невозможно сформировать большую выборку исходных данных. Часто сравнение текущего состояния с базовым не может дать достаточной информации о степени опасности для объекта и требуется, например, последовательное сравнение состояний во времени, чтобы отследить динамику их изменения. Очевидно, что требование обеспечения выборки вышеуказанного объема при решении этих задач невыполнимо.

Однако это не является основанием для утверждения, что собственно диаграммы Пуанкаре не подходят для исследования и оценки состояния быстрых динамических процессов.

Для оценки быстропротекающих процессов важно определить, как изменяется состояние процесса во времени. В этом случае можно воспользоваться временным окном, которое будет двигаться вдоль

временного ряда, вырезая из множества исходных данных подмножество с неизменным количеством временных отсчетов. Таким образом, подмножество будет характеризоваться постоянным количеством входящих в него элементов и положением на временной оси формирующего это множество временного окна, например, начальная и конечная временные точки для текущей версии подмножества.

Применение данного подхода к построению диаграмм Пуанкаре позволяет выявить динамику изменения состояния процесса. На рис. 5, 6 и 7 представлены диаграммы Пуанкаре для последовательных участков временного ряда, соответствующих участкам 1, 2 и 3 графика изменения ускорения автомобиля при совершении поворота (рис. 3). Прямая линия на рисунках - тренд. Использовалось временное окно шириной $\sim 1,56$ сек. Формируемое подмножество включает в себя 100 элементов (временных отсчетов). Параметры размещения временного окна: диаграмма 1 (рис. 5): нижняя граница $\sim 7,80$ сек., верхняя граница $\sim 9,36$ сек.; диаграмма 2 (рис. 6): нижняя граница $\sim 9,36$ сек., верхняя граница $\sim 10,92$ сек.; диаграмма 3 (рис. 7): нижняя граница $\sim 10,92$ сек., верхняя граница $\sim 12,48$ сек.

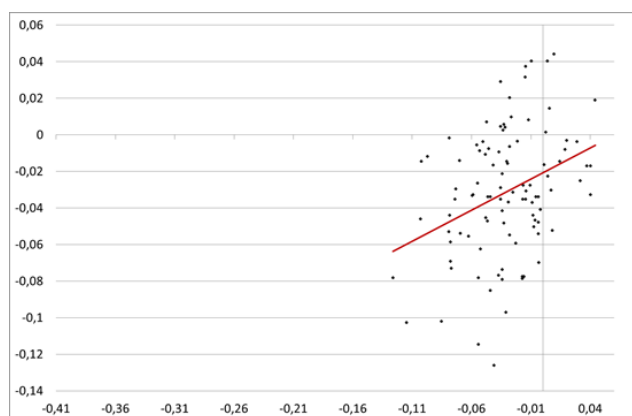


Рис. 5. Диаграмма Пуанкаре, соответствующая графику изменения ускорения по оси Y на участке $\Delta t = [7,80; 9,36]$

Участок 1 на рис. 3 соответствует стабильному движению с ускорением, близким к нулю. Соответствующая диаграмма на рис. 5 подтверждает этот вывод, поскольку имеется тенденция к симметрии относительно центра координат. Однако наряду с этим на диаграмме прослеживается тенденция к сдвигу центра масс диаграммы в левый нижний квадрант, что показывает наличие «дестабилизирующей» составляющей ускорения, связанной с последующим поворотом автомобиля налево.

Ситуации перехода объекта из одного квазистойчивого состояния в другое (ситуации входа в поворот для автомобиля в данном случае) соответствует график изменения ускорения на рис. 3 (участок 2) и диаграмма Пуанкаре на рис. 6. Переход из одного состояния в другое характеризуется на диаграмме шлейфом точек, растянутым от начала координат в левый нижний угол диаграммы.

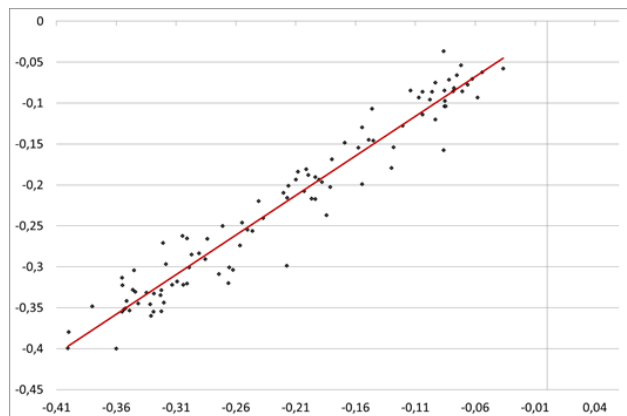


Рис. 6. Диаграмма Пуанкаре, соответствующая графику изменения ускорения по оси Y на участке $\Delta t = [9,36; 10,92]$

Наконец, участок 3 на рис. 3 отражает следующее квазистойчивое состояние - поворот с постоянным центростремительным ускорением. На диаграмме (рис. 7) новое квазистабильное состояние отражается в виде компактной совокупности точек, как и на диаграмме Пуанкаре на рис. 5, но более высокая степень группировки точек показывает, что определяющий состояние параметр (ускорение по оси Y) имеет разброс значений меньший, чем в случае, представленном на рис. 5. Исключением являются несколько точек вне компактной группы, которые показывают, что наблюдались отдельные резкие скачки ускорения (на рис. 3 промежуток времени $\Delta t = [12,25; 12,48]$).

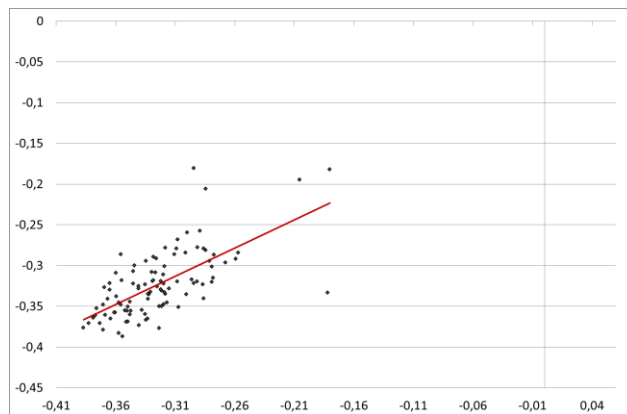


Рис. 7. Диаграмма Пуанкаре, соответствующая графику изменения ускорения по оси Y при $\Delta t = [10,92; 12,48]$

Следует отметить, что в качестве временного интервала Δt был выбран минимальный промежуток времени, в течение которого для данного типа объекта характерен переход от одного среднего уровня снимаемого параметра к другому. Для каждого типа объекта и в зависимости от требований решаемой задачи временной интервал Δt будет различным.

Если проследить динамику перемещения центра тяжести масс точек, используемых при формировании последовательности диаграмм Пуанкаре, то устойчивым состоянием соответствуют компактно расположенные группы точек центра масс, соответствующие

начальному и конечному устойчивым состояниям. Эти группы выделены на рис. 8 овалами. Процесс перехода характеризуется отдельно расположенными точками центров масс, связывающими начальное и конечное состояние. Концентрация точек центров масс для устойчивых состояний значительно больше, чем для состояний перехода. На рис. 8 квадратными маркерами выделены точки центров масс для диаграмм Пуанкаре, приведенных на рис. 5, 6, 7.

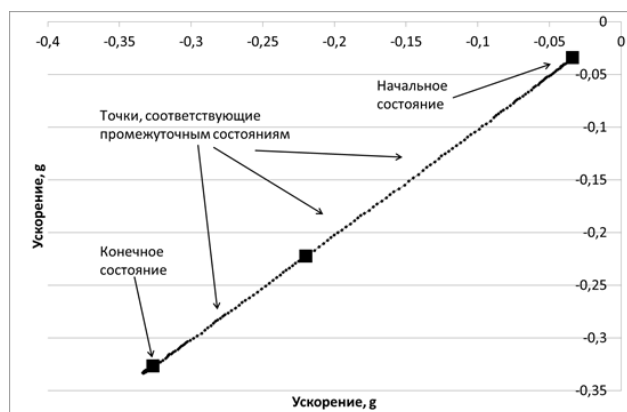


Рис. 8. Центр тяжести масс точек для последовательности диаграмм Пуанкаре, соответствующих графику изменению ускорения по оси Y на участке $\Delta t = [9,36; 12,48]$

Таким образом, проведенный сравнительный анализ показал, что диаграммы Пуанкаре на основе обработки экспериментального временного ряда контролируемого параметра могут быть использованы для отслеживания изменения состояния объекта.

В общем виде структура обобщенной однофакторной модели отслеживания изменения состояния технического объекта в динамике на основе анализа изменения диаграмм Пуанкаре определяется кортежем:

$$\langle X, DT, DP, S, Kr \rangle,$$

где X – временной ряд значений параметра объекта, определяющий его состояние; DT – параметры временного окна для формирования диаграмм Пуанкаре (например, ширина, шаг сдвига и др.); DP – последовательность, состоящая из диаграмм Пуанкаре, построенных на выборках временного ряда, выделенных соответствующей реализацией временного окна; S – множество различаемых состояний объекта, необходимых для оценки степени его работоспособности с учетом решаемой этим объектом задачи; Kr – совокупность критериев (функциональных и логических соотношений, правил и ограничений), сопоставляющих конкретной диаграмме Пуанкаре соответствующее состояние объекта из множества S .

Процедура формирования диаграммы Пуанкаре определяется следующим обобщенным соотношением:

$$DP = R(X, DT).$$

Для проведения процедуры отслеживания каждая диаграмма Пуанкаре подвергается обработке для вы-

явления текущих значений параметров, которые затем используются при идентификации состояния объекта, или принятия решения об эквивалентности текущего состояния одному из различаемых состояний из множества S :

$$P_{DP} = F(DP, Q),$$

где Q – правила (функциональные и логические соотношения и ограничения) оценки значений характерных параметров диаграммы Пуанкаре.

Процедура отслеживания состояния объекта определяется следующим обобщенным выражением:

$$S = \Phi(P_{DP}, Kr).$$

В результате реализации модели можно получить оценку состояния объекта на основе временного ряда значений параметра в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит. 1981. – 232 с.
- [2] Васильев В.В., Грездов Г.И., Симак Л.А. и др. Моделирование динамических систем: Аспекты мониторинга и обработки сигналов / Под ред. В.В.Васильева. – К.: НАН Украины. – 2002. – 344 с.
- [3] Клевцов С.И. Предварительная оценка состояния совокупности параметров технического объекта с использованием интеллектуального микропроцессорного модуля // Известия ЮФУ. Технические науки.– Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010, №5(106). - С. 43-48.
- [4] Клевцов С.И. Прогнозирование измерения состояния параметров технического объекта с помощью интеллектуального микропроцессорного модуля // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем – 2010. Сборник трудов. – М.: ИППМ РАН, 2010. - С. 619-622.
- [5] Клевцов С.И. Мульти сегментная пространственная аппроксимация градуировочной характеристики микропроцессорного датчика // Метрология. – М.: ФГУП «Стандартинформ». 2011. Вып. 7. – С. 26-36.
- [6] Клевцов С.И. Формирование мульти сегментной модели градуировочной характеристики интеллектуального датчика // Известия ЮФУ. Технические науки. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. №11 (88). - С. 8–11.
- [7] Новоселов О.Н. Идентификация и анализ динамических систем: монография. 3-е изд., перераб.и доп. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. - 424 с.
- [8] Гуфельд И.Л., Гаврилов В.А., Корольков А.В., Новоселов О.Н. Эндогенная активность Земли и декомпрессионная модель сейсмического шума // Докл. РАН. 2008. Т. 423. № 6. С. 811–814.
- [9] Андриевская Н.В. Теория автоматического управления. Пермь:Перм. гос. техн. ун-т, 2006. – 92 с.
- [10] Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. СПб.: Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с.
- [11] Чудаков Е.А. Теория автомобиля. М.:Гос. науч.-техн. изд-во машиностр. литер., 1950. – 343 с.