

Синтез таксономической схемы для идентификации состояний сложных систем

А. В. Гулай, В. М. Зайцев

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Аннотация. Введение высокоскоростных средств цифровой обработки данных позволяет повысить эффективность проведения экспериментальных исследований и экспертных оценок, выполнения корреляционного анализа контролируемого процесса и синтеза адекватных поведенческих моделей, а также выработки технически реализуемых управленческих реакций. Для построения алгоритмов и аппаратно-программных средств контроля предложена таксономическая схема оценивания системных состояний, характеризующихся определенной степенью общности свойств системы и порождаемых на их основе управленческих реакций. Процесс идентификации состояний предполагает сопоставление текущих значений контролируемых параметров вектора факторных переменных с классификационными элементами множества выделенных таксонов в виде их медианных центров. Рассмотрены особенности вероятностного подхода к выявлению медианных центров таксонов, а также метода применения экспертных функций принадлежности и алгоритмов нечеткой логики. В качестве меры близости текущего состояния системы к указанным таксонам проанализированы условия использования метрик Евклида, Хемминга и Махаланобиса.

Ключевые слова: сложная система, идентификация состояний, таксономическая схема, сенсорный образ, метрика Махаланобиса.

DOI 10.14357/20718594190208

Введение

К сложным системам технического назначения относятся системы, которые содержат в своем составе значительное количество взаимосвязанных многофункциональных подсистем и компонентов, работают с большим объемом факторных переменных, что затрудняет практическое построение адекватных математических описаний процессов контроля и управления в таких системах. Как правило, при функционировании сложных систем текущие ситуации характеризуются возникновением различного рода аномалий и зашумлений результатов измерения контролируемых параметров, образованием тех или иных второстепенных, а в ряде случаев негативных и непригодных для целей управления системных процессов [1, 2]. Кроме того, указанные

системы отличаются нестационарностью характеристик (в том числе их дрейфом и эволюцией во времени), а также сложностью воспроизведения экспериментов [3].

Представителями сложных систем технического назначения являются, например, мехатронные, робототехнические, кибернетические системы, а также системы контроля, управления и диагностики для современного электромеханического и электронного оборудования. Использование в этих системах методов цифровой обработки информации, приемов ситуационного адаптивного управления в пространстве состояний позволяет существенно расширить множество одновременно анализируемых параметров, повысить точность и оперативность функционирования, а также общую эффективность целевого применения систем.

✉ Гулай Анатолий Владимирович. E-mail: is@bntu.by

Ситуационно-адаптивное управление основывается на учете и анализе объективно складывающихся системотехнических ситуаций, которые определяются множеством одномоментных событий и внешних обстоятельств функционирования системы. В перечень таких событий и обстоятельств входит взаимодействие системы со средой, с объектом управления и иными элементами системного окружения. Неопределенности и неточности в идентификации системотехнических ситуаций порождают риски управления, которые могут иметь негативные последствия для функционирования системы. В связи с этим значительный интерес представляет рассмотрение вопросов идентификации системных состояний в различных циклах адаптивного ситуационного управления.

Математические модели и методы, применяемые для оценки системных состояний по результатам фактических наблюдений, потенциально могут обеспечить достаточно эффективное формирование соответствий между множеством состояний и возможных вариантов управления [1-3]. Однако в большинстве случаев авторы работ по рассматриваемой тематике ограничиваются расширенной формулировкой задачи идентификации и укрупненным изложением возможных подходов к ее решению. Практическая реализация таких алгоритмов отличается высокой вычислительной емкостью и длительным временем исполнения соответствующих процедур даже на высокоскоростном вычислительном оборудовании.

Задача упрощается в тех случаях, когда выработка управленческих решений производится в зависимости от распределения фактических значений контролируемых параметров по зонам, предварительно выбранным экспертами. С учетом этого в настоящей работе предложена технология предварительного построения группы таксонов для контроля и управления миграцией параметров с учетом возможных статистических взаимосвязей между ними.

1. Системная структуризация и накопление сенсорной информации

Общая схема функционирования систем с адаптивным циклом ситуационного управления предусматривает последовательную реализацию групп типовых действий. Каждая группа включает сбор, обработку, накопление или об-

новление в системе параметров текущих состояний контролируемых физических объектов и явлений [4]. В результате этого формируется определенный различимый информационный образ контролируемого объекта или явления путем агрегирования как количественных, так и качественных признаков [5]. Создание информационных образов производится путем дистанционного отображения текущих состояний объектов в базе данных системы на основе информационного потока результатов сенсорного контроля. Асинхронное формирование сенсорными источниками информационных образов с необходимым темпом оцифровки сопровождается процедурами выработки в органе управления требуемых управленческих воздействий и соответствующих им команд и сигналов, а также обработкой этих команд с помощью исполнительных механизмов.

При функционировании системы технического назначения ее компоненты оперируют сенсорными образами фактически складывающихся системных ситуаций и состояний, которые естественно оценивать текущими значениями измеряемых и контролируемых параметров [6]. Для обеспечения эффективного функционирования системы указанная информация подлежит системной структуризации и накоплению [7]. Контролируемые параметры формируют текущие сенсорные образы и отображают определенные системные ситуации и состояния:

$$X(t) = \|x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}, \dots, x_{im}\|.$$

Совокупности мгновенных значений контролируемых параметров x_{ii} на момент времени t следует рассматривать как характеристики соответствующих им микросостояний системы. При этом каждая координата из их общего количества n должна иметь существенную системную значимость и отражать тот или иной функциональный аспект. Он должен быть пригоден для идентификации или классификации микросостояний, которые, в свою очередь, требуются для обеспечения решения с помощью средств системы заданного набора задач логико-программного управления. На стадии системного анализа при исходном формировании состава координат вектора $X(t)$ необходимо применять реальные параметры, значения которых могут быть фактически измерены с помощью сенсорной аппаратуры и зафиксированы в вычислительном оборудовании системы.

В состав координат вектора могут вводиться также виртуальные параметры, значения которых с помощью определенных процедурных знаний подлежат оперативному расчету на основе реальных параметров и наборов системных констант. Реальные параметры — координаты x_{ii} , как правило, принимают случайные значения. Кроме того, процесс их фактического измерения чаще всего производится с погрешностями, что вносит дополнительный элемент случайности в результаты оценки как реальных, так и виртуальных параметров.

Количество возможных микросостояний системы в общем случае является бесконечным, что требует формирования и использования гипотетически бесконечного множества управленческих реакций. В то же время выработка технически реализуемых управленческих реакций системы, как правило, возможна только на конечном множестве идентифицируемых системных ситуаций и состояний. В связи с этим возникает целесообразность дополнительного выделения смысловых групп системных состояний и ситуаций.

При построении алгоритмов и аппаратно-программных средств контроля и управления целесообразно использовать системотехнический прием синтеза определенных таксономических схем идентификации состояний [8]. Введение указанных схем предполагает выделение отдельных таксонов в виде групп системных состояний, связанных той или иной степенью общности свойств или признаков. При этом существенно возрастает значимость и практическая применимость результатов предварительных экспериментальных системных исследований [7].

В технических приложениях важны следующие схемы, применение которых позволяет обеспечить требуемые процедуры: индивидуальный контроль и управление миграцией в фазовом пространстве отдельных координат вектора $X(t)$ без учета возможных статистических взаимосвязей между параметрами; групповой контроль и управление миграцией в фазовом пространстве всей совокупности координат этого вектора с учетом статистических взаимосвязей.

Процесс непосредственной идентификации предполагает сопоставление текущих значений измеряемых и контролируемых параметров, соответствующих микросостояниям сенсорного образа, с классификационными элементами множества из m таксонов по принятой таксономической схеме:

$$\{S_j = \{e_{ji}\}, i = 1, 2, \dots, n\}, j = 1, 2, \dots, m,$$

где e_{ji} — классификационные элементы.

Предположим, что с помощью синтеза классификационных элементов e_{ji} проведено выделение указанных выше таксонов. Геометрическая интерпретация процесса идентификации предполагает выделение в n -мерном пространстве реальных и виртуальных параметров m областей $\{\psi_j\}$, которые соответствуют таксонам $\{S_j\}$, где j — номер таксона. Если текущее состояние системы характеризуется вектором $X(t)$ и, в зависимости от применяемой таксономической схемы, какая-то часть или все его координаты принадлежат некоторой области ψ_j , то правомерно принятие решения о принадлежности этого системного состояния таксону S_j . Однако в большинстве реальных систем области таксонов пересекаются и не имеют четких границ.

Координаты векторов $\{x_{ji}\}$ могут иметь различную природу и способ представления в системе — числовой, логической или лингвистической. Числовые и логические параметры наиболее удобны в обработке и их вероятностные распределения могут быть заданы с помощью непрерывных или дискретных функций. Гораздо более сложными оказываются процессы обработки лингвистических параметров, которые представляют собой суждения качественного, в том числе экспертного характера, с нечеткой оценкой наличия или отсутствия некоторых свойств у системных ситуаций или состояний.

Алгоритмы классификации, как правило, базируются на использовании мер близости текущего состояния системы к таксонам [2, 3], что достигается с помощью определенных критериев близости и метрик в виде расстояний $\{\delta[\{x_{ji}\}; \{p_{ji \text{ мед}}\}]\}$, где $\{p_{ji \text{ мед}}\}$ — координаты медианных центров таксонов S_j .

2. Синтез таксономической схемы для идентификации состояний

Предлагается таксономическая схема, основанная на предварительном построении системными аналитиками группы таксонов для индивидуального контроля и управления миграцией параметров вектора $X(t)$ без учета возможных статистических взаимосвязей между параметрами [9]. Эту схему целесообразно применять для функционирования системных блоков оперативного контроля. Каждый из выделенных

таксонов объединяет диапазоны определенных значений для отдельных параметров микросостояний, которые требуют выработки и последующей реализации однотипных в смысловом отношении управленческих реакций.

В принципе в полноценной таксономической схеме достаточно задействовать таксоны пяти основных видов, которым может быть приписан следующий системотехнический смысл:

- $S_1, (S_5)$ — таксон значений фазовых координат, соответствующий выработке экстренных управленческих решений и воздействий по каждому из контролируемых параметров i -го типа при достижении параметром соответствующей ему верхней (нижней) аварийной границы;

- $S_2, (S_4)$ — таксон значений фазовых координат, предусматривающий выработку специальных планово-предупредительных управленческих решений и воздействий по каждому из контролируемых параметров i -го типа при достижении им соответствующей ему верхней (нижней) предупредительной границы;

- S_3 — таксон значений фазовых координат предпочтительных системотехнических микросостояний, в которых предполагается принятие штатных управленческих решений и формирование воздействий по контролируемому параметру i -го типа с целью обеспечения требуемых законов его изменения или сохранения его текущего значения.

Общее количество возможных комбинаций микросостояний, подлежащих идентификации и выработке управленческих решений при использовании этой таксономической схемы, равно 5^n . Допустимо расширение таксономической схемы до m таксонов путем дополнительного введения иных по смыслу обобщенных системных состояний, представляющих интерес для выработки управленческих решений в условиях различных комбинаций контролируемых параметров. Расширение состава таксонов, как правило, обеспечивает уменьшение уровней рисков и выработку системой более обоснованных и адекватных управленческих воздействий, но сопровождается естественным возрастанием размерности требуемых для этого базовых информационно-логических условий и правил.

Для задания таксонов значений фазовых координат в большинстве случаев применяются результаты предварительных системных исследований, а также знания и опыт экспертов. Каждому параметру $\{x_{ti}\}$ из состава координат

вектора $X(t)$ ставятся в соответствие обобщенные диапазоны возможных значений: $\{(\alpha_{i \min}, \alpha_{i \max})\}$. Эти диапазоны расщепляются на поддиапазоны $\{(\alpha_{ji \min}, \alpha_{ji \max})\}$, соответствующие выбранным таксонам $\{S_j\}$:

$$\{(\alpha_{1i \min}, \alpha_{1i \max}); (\alpha_{2i \min}, \alpha_{2i \max}); \dots; (\alpha_{ji \min}, \alpha_{ji \max}); \dots; (\alpha_{mi \min}, \alpha_{mi \max})\}.$$

В рассматриваемой схеме необходимо соблюдение граничных условий $\alpha_{1i \min} = \alpha_{i \min}$, $\alpha_{mi \max} = \alpha_{i \max}$, а таксоны имеют следующее структурное строение:

$$S_1 = \{e_{11} = (\alpha_{11 \min}, \alpha_{11 \max}); e_{12} = (\alpha_{12 \min}, \alpha_{12 \max}); \dots; e_{1n} = (\alpha_{1n \min}, \alpha_{1n \max})\},$$

$$S_2 = \{e_{21} = (\alpha_{21 \min}, \alpha_{21 \max}); e_{22} = (\alpha_{22 \min}, \alpha_{22 \max}); \dots; e_{2n} = (\alpha_{2n \min}, \alpha_{2n \max})\},$$

...

$$S_m = \{e_{m1} = (\alpha_{m1 \min}, \alpha_{m1 \max}); e_{m2} = (\alpha_{m2 \min}, \alpha_{m2 \max}); \dots; e_{mn} = (\alpha_{mn \min}, \alpha_{mn \max})\}.$$

При этом для $m = 5$

$$x_{ti} \in S_1, \text{ если } x_{ti} \in (\alpha_{1i \min}, \alpha_{1i \max}),$$

$$x_{ti} \in S_2, \text{ если } x_{ti} \in (\alpha_{2i \min}, \alpha_{2i \max}),$$

$$x_{ti} \in S_3, \text{ если } x_{ti} \in (\alpha_{3i \min}, \alpha_{3i \max}),$$

$$x_{ti} \in S_4, \text{ если } x_{ti} \in (\alpha_{4i \min}, \alpha_{4i \max}),$$

$$x_{ti} \in S_5, \text{ если } x_{ti} \in (\alpha_{5i \min}, \alpha_{5i \max}).$$

В общем случае из-за возможного перекрытия значений интервальных поддиапазонов могут возникать зоны дополнительной неопределенности в оценке принадлежности отдельных параметров к смежным поддиапазонам:

$$\{[e_{1i}, e_{2i}], [e_{2i}, e_{3i}], [e_{3i}, e_{4i}], [e_{4i}, e_{5i}]\}.$$

При вероятностном подходе и использовании m таксонов обычно на основе предварительного обследования процессов и экспериментальных данных оцениваются функции $f_i(x)$ плотности вероятностей распределения значений параметров x_{ti} в обобщенных диапазонах $(\alpha_{i \min}, \alpha_{i \max})$. Как правило, применяются усеченные распределения, для которых обобщенные диапазоны ограничивают размах параметров x_{ti} [10]:

$$\int_{\alpha_{i \min}}^{\alpha_{i \max}} f_i(x) dx = 1.$$

В этом случае могут быть рассчитаны точки $\rho_{ji \text{ med}}$ абсцисс медиан распределений значений параметров x_{ti} внутри поддиапазонов соответствующих таксонов

$$\int_{\alpha_{ji \min}}^{\rho_{ji \text{ med}}} f_i(x) dx = \int_{\rho_{ji \text{ med}}}^{\alpha_{ji \max}} f_i(x) dx$$

в условиях $\alpha_{1i \min} = \alpha_{i \min}$, $\alpha_{mi \max} = \alpha_{i \max}$.

Равенство приведенных интегралов обусловлено тем, что вероятность распределения значений параметров x_{ti} в диапазоне $(\alpha_{ji \min}, \rho_{ji \text{ med}})$ равна вероятности распределения значений указанных параметров в интервале $(\rho_{ji \text{ med}}, \alpha_{ji \max})$.

При использовании подхода, ориентированного на введение алгоритмов нечеткой логики, на основе знаний экспертов оцениваются функции $\phi_i(x)$ принадлежности значений параметров x_{ti} к координатным диапазонам. Принадлежность значения параметра x_{ti} микросостояния таксону S_j может устанавливаться исходя из условия: $\alpha_{ji \min} \leq x_{ti} \leq \alpha_{ji \max}$.

Однако в алгоритме классификации для принятия индивидуальных решений в зонах неопределенностей по параметру x_{ti} без учета статистических взаимосвязей между параметрами вектора $X(t)$ необходимо дополнительно оценивать меру близости результатов измерений к смежным поддиапазонам $e_{(j-1)i}$, e_{ji} , $e_{(j+1)i}$.

С этой целью целесообразно применение метрики Евклида ε_{ji} с ядром в виде квадратов взвешенных расстояний от текущих значений x_{ti} до абсцисс медиан поддиапазонов, а также отбора по принципу их минимума:

$$x_{ti}(\varepsilon_{ki}) \in e_{ki}, \text{ если } \varepsilon_{ki}^2 = \min \{(\rho_{ji \text{ med}} - x_{ti})^2 / \sigma_{ti}^2\};$$

$$j, k = 1, 2, 3, 4, 5,$$

где σ_{ti} — среднеквадратическое отклонение (погрешность измерения) параметра x_{ti} ; k — номер таксона, к которому принадлежит текущее значение x_{ti} .

Если погрешности измерений σ_{ti} не зависят от моментов времени t , то в рассматриваемой таксонометрической схеме допустимо использование метрики Хемминга χ_{ji} в виде абсолютных отклонений значений x_{ti} от абсцисс медиан поддиапазонов:

$$x_{ti}(\chi_{ki}) \in e_{ki}, \text{ если } \chi_{ki} = \min \{|\rho_{ji \text{ med}} - x_{ti}|\},$$

$$j, k = 1, 2, 3, 4, 5.$$

Таким образом, каждому измеренному текущему значению параметра x_{ti} может быть поставлен в соответствие один из пяти таксонов S_j .

3. Алгоритм идентификации состояний сложных систем

Групповой контроль и управление миграцией в фазовом пространстве всей совокупности координат вектора $X(t)$ с учетом или без учета корреляции параметров может быть организован в соответствии с обобщенным алгоритмом,



Рис. 1. Обобщенный алгоритм идентификации состояний систем

представленным на Рис. 1. В фазовом пространстве системными аналитиками выделяются m дискретных областей микросостояний, которые интерпретируются как нейтральные, наиболее предпочтительные или недопустимые зоны возможного расположения вектора $X(t)$, которым ставятся в соответствие таксоны макросостояний $\{S_j\}$. Указанным областям могут назначаться иные смысловые значения, необходимые для обеспечения эффективного функционирования системы.

Формально эти таксоны имеют структурное строение, аналогичное предыдущей таксономической схеме. Однако входящие в таксоны интервальные диапазоны несут принципиально иную смысловую нагрузку: каждый поддиапазон значений фазовых координат $e_{ji} = (\alpha_{ji \min}, \alpha_{ji \max})$ для вектора $X(t)$ определяет множество значений параметра x_{ti} , при которых вектор $X(t)$ по рассматриваемому параметру принадлежит области макросостояния S_j . При этом $x_{ti} \in S_j$, если $x_{ti} \in (\alpha_{ji \min}, \alpha_{ji \max})$ для всех i . В этой схеме соблюдение условий $\alpha_{ji \min} = \alpha_{i \min}$, $\alpha_{ji \max} = \alpha_{i \max}$ не является обязательным.

Будем полагать, что точки $\{\rho_{ji \text{ med}}\}$ соответствуют абсциссам медиан распределений значений параметров x_{ti} внутри поддиапазонов $(\alpha_{ji \min}, \alpha_{ji \max})$. Для учета статистических взаимосвязей между значениями фазовых координат вектора $X(t)$ необходимо проведение предварительных системных исследований временных рядов с использованием выборок из L значений фазовых координат в дискретные моменты времени t и построение матрицы парной ковариации

$$\text{COV}(x_i, x_q) = \|K_{iq}\|; i, q = 1, 2, \dots, n;$$

$$K_{iq} = \left[\sum_{h=1}^L (x_{thi} - M_{x_i})(x_{thq} - M_{x_q}) \right] / (L - 1);$$

$$M_{x_i} = \left(\sum_{h=1}^L x_{t_{hi}} \right) / L; \quad M_{x_q} = \left(\sum_{h=1}^L x_{t_{hq}} \right) / L,$$

где L — количество выборок значений фазовых координат вектора $X(t)$ в дискретные моменты времени t_h .

Для оценки принадлежности вектора $X(t)$ макросостоянию таксона S_j предпочтительно применение метрики Махаланобиса: $X(t, \mu_j) \in S_j$, если

$$\mu_j^2 = \min \{ [X(t) - \text{MED}(j, X)] [\text{COV}(x_i, \rho_{ji \text{ med}})] [X(t) - \text{MED}(j, X)]^T \},$$

$$\{ \text{MED}(j, X) = \|\rho_{j1 \text{ med}}, \rho_{j2 \text{ med}}, \rho_{j3 \text{ med}}, \dots, \rho_{ji \text{ med}}, \dots, \rho_{jn \text{ med}}\| \}.$$

где μ_j^2 — квадрат расстояния Махаланобиса; $\{ \text{MED}(j, X) \}$ — векторы медиан классификационных интервалов значений параметров.

Расстояние Махаланобиса — это расстояние между векторами случайных величин, обобщающее Евклидово расстояние; оно учитывает корреляцию между фазовыми координатами и инвариантно к масштабу. При рассматриваемых условиях построения таксономической схемы можно полагать, что $\text{COV}(x_i, \rho_{ji \text{ med}}) \approx \text{COV}(x_i, x_q)$.

Для практического применения метрики Махаланобиса вычислительный алгоритм должен обеспечивать:

- вычисление элементов матриц – строк $\{ \|X(t) - \text{MED}(j, X)\| = \|\beta_{ji}\|$, где $\beta_{ji} = x_{ti} - \mu_{ji \text{ med}}$;
- транспонирование матриц – строк с образованием матриц – столбцов $\{ \|X(t) - \text{MED}(j, X)\|^T = \|\beta_{ji}\|^T \}$;
- умножение матриц – строк на матрицы ковариации с образованием вспомогательных матриц – строк $\{ [X(t) - \text{MED}(j, X)] [\text{COV}(x_i, \mu_{jq \text{ med}})] = \|\gamma_{ji}\| \}$,

$$\text{где } \gamma_{ji} = \sum_{i=1}^n \beta_{ji} K_{jq};$$

- умножение вспомогательных матриц – строк $\|\gamma_{ji}\|$, на матрицы – столбцы $\|\beta_{ji}\|^T$, и получение квадратов расстояний Махаланобиса

$$\rho_j^2 = \sum_{i=1}^n \gamma_{ji} \beta_{ji}.$$

В частном случае, если не требуется учет статистических связей между параметрами, все элементы матрицы ковариации за исключением дисперсий, размещенных на главной диагонали этой матрицы, приравниваются нулю, а метри-

ка Махаланобиса превращается во взвешенную метрику Евклида.

Заключение

При функционировании сложной системы технического назначения ее компоненты оперируют с сенсорными образами фактически складывающихся системных ситуаций и состояний, которые оценивают текущими значениями измеряемых и контролируемых параметров. Для практического построения алгоритмов и аппаратно-программных средств контроля и управления в системе целесообразно использовать системотехнический прием синтеза определенных таксономических схем с целью идентификации состояний. В работе предложена таксономическая схема, предполагающая предварительное построение группы таксонов для контроля и управления миграцией параметров с учетом возможных статистических взаимосвязей между ними. Показано, что для оценки принадлежности совокупности значений параметров макросостоянию определенного таксона предпочтительно применение метрики Махаланобиса. В частном случае, если не требуется учет статистических связей между параметрами, метрика Махаланобиса превращается во взвешенную метрику Евклида.

Литература

1. Кириллов Н.П. Функциональное состояние технического объекта. Дефиниция понятия // Авиакосмическое приборостроение. 2010. № 10. С. 31-40.
2. Генов А.А., Русаков К.Д., Хиль С.Ш. Идентификация состояния сложной технической системы в условиях неопределенности измерительной информации // Программные продукты и системы. 2017. № 3. С. 373-377.
3. Дилигенская А.Н. Идентификация объектов управления. Самара: Издательство Самарского ГТУ, 2009. 139 с.
4. Гулай А.В., Зайцев В.М. Архитектура интеллектуальных систем. Минск: ИВЦ Минфина, 2018. 367 с.
5. Колешко В.М., Гулай А.В., Гулай В.А. Синтез сенсорных и интеллектуальных технологий в научном познании. Минск: Вышэйшая школа. 2011. № 2. С. 53-57.
6. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными системами. М.: Сов. радио, 1980. 234 с.
7. Воронова Н.П., Ковалев С.М., Шабельников А.Н. Идентификация и оценивание состояний нечетких динамических систем // Известия Южного федерального университета. 2016. № 6. С. 128-130.
8. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982. 152 с.

9. Гулай А.В., Зайцев В.М. Оценка состояний системно-технической ситуации при адаптивном ситуационном управлении // Теоретическая и прикладная механика. 2016. Вып. 31. С. 214–220.
10. Абезгауз А.А., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н., Коровина Ю.Н. Справочник по вероятностным расчетам. М.: Воениздат. 1970. 536 с.

Taxonomic scheme synthesis to identify the states of complex systems

A.V. Gulay, V.M. Zaitsev

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. Functioning of complicated technological systems is connected with purpose-oriented procession of formed sensor images, which display actual system-related situations at the expense of a set of controlled factorial parameters. Introduction to these systems of high-speed digital processing means makes it possible to improve efficiency of experimental researches and expert reviews, correlation analysis of the controlled process and synthesis of adequate behavioral models, as well as development of technically feasible managerial reactions. A taxonomic scheme for assessment of systematic states is provided for development of control algorithms and hardware and software, which are characterized by a certain degree of the totality of system properties and generated managerial reactions on their basis. The state identification process presupposes the comparison of the current values of controlled parameters of the vector of factor variables with classification components of multiple dedicated taxons in the form of their median centers. Peculiarities of the probabilistic approach to the determination of median centers of taxons, as well as of the method of expert functions and fuzzy logic algorithms application have been considered. The use environment of Euclid, Hemming and Mahalanobis metrics has been analyzed as a proximity measure of the current state of the system to the aforesaid taxons.

Keywords: complex system; identification of states; taxonomic scheme; sensor pattern; Mahalanobis metric.

DOI 10.14357/20718594190208

References

1. Kirillov, N.P. 2010. Funkcional'noe sostoyanie tekhnicheskogo ob'ekta. Definiatsiya ponyatiya [The functional state of the technical object. Definition of the concept]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*. [Aerospace instrumentation] 10:31–40.
2. Genov, A.A., K.D. Rusakov, and S.Sh. Khil'. 2016. Identifikatsiya sostoyaniya tekhnicheskoy sistemy v usloviyakh neopredelennosti izmeritel'noy informatsii [The Technical System State Identifications at the Conditions of the Measuring Information Indeterminacy]. *Programmnye produkty i sistemy*. [Software products and systems] 3:373–377.
3. Diligenskaya, A.N. 2009. Identifikatsiya ob'ektov upravleniya [Objects of Control Identification]. Samara: Samara State Technical University. 139 p.
4. Gulay, A.V., and V.M. Zaytsev. 2018. Arkhitektura intellektual'nykh sistem [Architecture of Intelligent Systems]. Minsk: ICC of Finance Ministry Pubs. 367 p.
5. Koleshko, V.M., A.V. Gulay, and V.A. Gulay. 2011. Sintez sensornykh i intellektnykh tekhnologiy v nauchnom poznanii [The Sensoric and Intelligence Technologies Synthesis at the Science Cognition]. *Wysheyshaya shkola*. [High School] 2:53–57.
6. Rastrigin, L.A. 1980. *Sovremennye prinzipy upravleniya slozhnymi sistemami* [The Modern Principles of a Complex Systems Control]. Moscow: Soviet Radio Pubs. 234 p.
7. Voronova, N.P., S.M. Kovalev, and A.N. Shabel'nikov. 2016. Identifikatsiya i ocenivanie sostoyaniy nechetkikh dinamicheskikh sistem [Identification and evaluation of states of fuzzy dynamic systems]. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta*. [Southen Federal University News] 6:128–130.
8. Shreyder, Yu.A., and A.A. Sharov. 1982. *Sistemy i modeli* [The Systems and Models]. Moscow: Radio and Communication Pubs. 152 p.
9. Gulay, A.V., and V.M. Zaytsev. 2016. Otsenka sostoyaniy sistemotekhnicheskoy situatsii pri adaptivnom situatsionnom upravlenii [Evaluation of the system-technical situation states at the adaptive situational control]. *Teoreticheskaya i prikladnaya mekhanika*. [Theoretical and Applied Mechanics] 31:214–220.
10. Abezgaуз, A.A., A.P. Tron', Yu.N. Kopenkin, and I.A. Korovina. 1970. *Spravochnik po veroyatnostnym raschetam* [The Probabilistic Calculations Directory]. Moscow: Defense Department of USSR Military Publishing. 536 p.