

DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-4-335-344

УДК 681.5.09

Анализ информационных факторов в проектировании интеллектуальных мехатронных систем

Кандидаты техн. наук, доценты А. В. Гулай¹⁾, В. М. Зайцев¹⁾¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Достижение основного результата при функционировании интеллектуальных мехатронных систем с цифровым управлением предлагается оценивать получаемым информационным эффектом. При этом в качестве основополагающего информационного фактора, влияющего на процесс проектирования мехатронной системы, рассматривается общность информационных требований с ее интеллектуальными компонентами. В связи с этим выделены параметры, с помощью которых можно достаточно полно охарактеризовать процессы получения и использования системной информации в объеме интеллектуальной мехатронной системы. Информационным критерием эффективности управления выбрана степень соответствия параметров векторов управления, синтезируемых системой, и результатов идентификации ее текущих состояний. Для формирования возможных состояний используется набор значений ожидаемых вероятностей нахождения каждого из параметров объекта управления и мехатронной системы в пределах требуемых допусков. Показано, что при комплексном информационном описании системы целесообразно использование экспертной оценки вероятности выбора допустимых векторов управления, которые обеспечивают перевод системы в благоприятные состояния. Данный подход позволил выделить основные информационно-технические характеристики интеллектуальной мехатронной системы: структурного построения (информационно-техническая совместимость и информационное согласование ее компонентов); объекта управления (неопределенность его состояния и информационный вектор, информационная емкость мехатронной системы); управляющих воздействий (их иерархия и энтропийный баланс процесса управления, управленческий ресурс мехатронной системы); результата функционирования (информационный эффект и критерий эффективности управления, вероятностный выбор состояний системы). По результатам выполненного анализа можно указать наиболее эффективные направления практического использования предложенного информационного подхода в создании интеллектуальной мехатронной системы: сопоставление альтернативных проектных решений на основе анализа расчетных оценок безусловной энтропии объекта управления и системы; моделирование с целью принятия окончательного системного варианта при построении цифрового блока управления создаваемой системы; комплексное применение знаний экспертов, наиболее полное введение знаний в процесс проектирования мехатронной системы.

Ключевые слова: интеллектуальная система, цифровое управление, мехатронная система, информационный фактор, вектор управления

Для цитирования: Гулай, А. В. Анализ информационных факторов в проектировании интеллектуальных мехатронных систем / А. В. Гулай, В. М. Зайцев // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 4. С. 335–344

Analysis of Information Factors for Designing Intellectual Mechatronic System

A. V. Gulai¹⁾, V. M. Zaytsev¹⁾¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper proposes to evaluate achievement of main results in operation of intellectual mechatronic systems with digital control by the obtained information effect. In this respect, common information requirements with intellectual

Адрес для переписки

Гулай Анатолий Владимирович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-93-25
is@bntu.by

Address for correspondence

Gulai Anatoliy V.
Belarusian National Technical University
65 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-93-25
is@bntu.by

components are considered as a basic information factor which influences on the process of mechatronic system designing. Therefore, some parameters have been accentuated and they can help to provide rather complete description of the processes used for obtaining and using systematic information within the volume of the intellectual mechatronic system. Conformity degree of control vector parameters synthesized by the system and identification results of its current states have been selected as an information criterion of the control efficiency. A set of expected probability values for location of each parameter of an control object and a mechatronic system within the required tolerances has been used for formation of possible states. The paper shows that when a complex information description of the system is used then it is expedient to use an expert assessment of selection probability for allowable control vectors which ensure a system transfer to favorable states. This approach has made it possible to pinpoint main information and technical specifications of the intellectual mechatronic system: structural construction (informational and technical compatibility and information matching of its components); control object (uncertainty of its state and information vector, information capacity of the mechatronic system); control actions (their hierarchy and entropic balance of control process, managerial resource of mechatronic system); functioning result (informational effect and control efficiency criterion, probabilistic selection of system states). In accordance with the fulfilled analysis it is possible to note the most effective directions for practical use of the proposed informational approach for creation of the intellectual mechatronic system: comparison of alternative design solutions based on the analysis of calculation assessments on unconditional entropy of the control object and the system; simulation with the aim to accept a final systematic option while constructing digital controlling block of the created system; complex application of experts' knowledge, most comprehensive introduction of knowledge to the process of mechatronic system designing.

Keywords: intelligent system, digital control, mechatronic system, information factor, control vector

For citation: Gulai A. V., Zaytzev V. M. (2016) Analysis of Information Factors for Designing Intellectual Mechatronic System. *Science & Technique*. 15 (4), 335–344 (in Russian)

Введение

Развитие интеллектуальных мехатронных систем идет по пути непрерывного усложнения логических структур и постоянного расширения функциональных возможностей востребованных практикой устройств с цифровым управлением. Это, в свою очередь, приводит к увеличению объемов циркулирующей в интеллектуальных системах и перерабатываемой ими системной информации. В связи с этим появляется необходимость в определении наиболее общих информационных подходов, технологий и характеристик для анализа работы мехатронных систем. Такие подходы должны охватывать этапы проектирования систем, чтобы заложить необходимые требования к системе на исходной стадии ее построения. Далее применяемые технологии анализа систем должны достаточно объективно и полно характеризовать процессы получения и обработки системной информации. Необходимо также, чтобы с использованием обобщенных информационных характеристик оценивался результат воздействия системы на управляемый объект.

В данной статье при выборе и определении вышеуказанных подходов учитывается, что эффективность функционирования интеллектуальных систем в существенной мере определяется применяемыми при их создании информа-

ционными технологиями. Поэтому в качестве основополагающего фактора, влияющего на процессы проектирования мехатронной системы с цифровым управлением, рассматривается общность информационных требований к ее интеллектуальным компонентам. Информационным критерием эффективности управления в каждом цикле функционирования интеллектуальной мехатронной системы считается степень соответствия параметров векторов управления результатам идентификации текущих состояний системы. Достижение основного результата при функционировании указанных систем также предлагается оценивать получаемым информационным эффектом. Данный подход позволил выявить основные информационно-технические характеристики интеллектуальной мехатронной системы, которые отражают особенности структурного построения ее компонентов, специфику объекта управления и правила выработки управляющих воздействий.

Значение информационных факторов в проектировании интеллектуальных мехатронных систем

В качестве основополагающего фактора, влияющего на процессы проектирования мехатронной системы с цифровым управлением, предлагается рассматривать общность информационных требований к ее интеллектуальным

ми компонентами (подсистемами): сенсорным модулем, блоком цифрового управления, исполнительным механизмом и системным каналом обмена данными [1]. Технические характеристики основных компонентов такой системы должны обеспечивать их информационную совместимость на всех этапах осуществляемых преобразований: функционально-информационного (I); собственно информационного (II); информационно-функционального (III) (рис. 1). Проблема информационной совместимости модулей мехатронной системы рассматривается при анализе всех видов сигналов, отображающих возможные состояния и воздействия в системе.

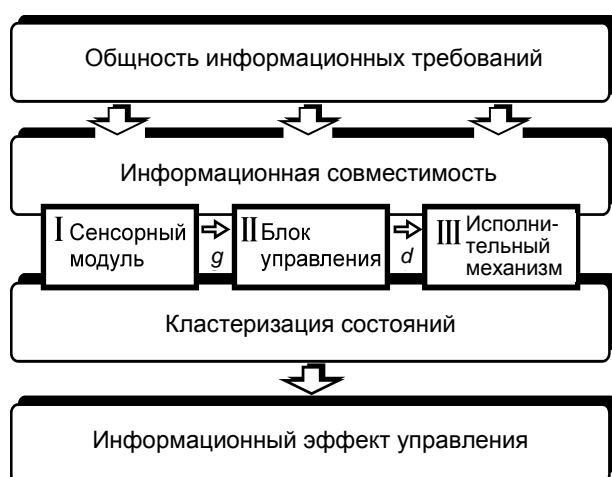


Рис. 1. Информационные факторы в процессе функционирования интеллектуальной мехатронной системы: g – информационный вектор параметров состояний объекта управления; d – вектор параметров ответных системных воздействий (вектор управления)

Fig. 1. Information factors in the operational process of intellectual mechatronic system: g – information vector of state characteristics for control object; d – vector of characteristics for response systematic actions (control vector)

Обязательным условием обеспечения согласованного функционирования составных частей интеллектуальной мехатронной системы является выполнение в процессе проектирования системы всех частных требований, предъявляемых к ее компонентам и к основным аспектам их информационно-технической совместимости. Однако даже при полном соблюдении указанных требований в мехатронной системе возможны информационные рассогласования

ее элементов. Для выполнения анализа данной проблемы целесообразно представить определение основных терминов, касающихся вопросов информационно-технической совместимости и семантического согласования компонентов мехатронной системы.

Определение 1. Под информационно-технической совместимостью компонентов интеллектуальной мехатронной системы будем понимать комплекс ее свойств, за счет которых между указанными компонентами обеспечивается бесконфликтная реализация процессов передачи данных по системным каналам, а также процессов приема данных, их синхронизации и обработки на смысловозначительном уровне. При этом предполагается, что построение и организация функционального взаимодействия аппаратных и программных составных частей интеллектуальной мехатронной системы отвечает общим требованиям семиуровневой модели взаимосвязи открытых систем Международной организации по стандартизации.

Непредсказуемые смысловые изменения информации, циркулирующей в интеллектуальной мехатронной системе, и, как следствие, негативные отклонения в поведении объекта управления и самой системы наблюдаются в результате различных возмущающих воздействий. Противодействие отрицательным явлениям на разных этапах функционирования системы и на различных уровнях ее структуры может быть реализовано за счет применения специальных методов из арсенала современных интеллектуальных технологий. Использование интеллектуальных модулей в составе мехатронной системы позволяет обеспечить достижение взаимного информационного согласования ее элементов.

Определение 2. Под семантическим информационным согласованием составных частей интеллектуальной мехатронной системы понимается обеспечение (формальное описание в программных компонентах и практическое соблюдение в аппаратных блоках) условий бесконфликтной реализации на смысловом уровне процессов передачи и приема данных по системным каналам, а также синхронизации данных и их обработки.

Разнообразие возможных состояний X^S объекта управления и мехатронной системы

определяется комбинациями в информационном векторе объекта управления текущих состояний основных составных частей с учетом влияния на них различных возмущающих факторов. Очевидно, что множество возможных состояний XS^* по своей природе является бесконечным. В числе возмущающих факторов могут быть флуктуации параметров объекта управления, изменения электромагнитных и механико-климатических условий, вариации параметров сенсорного и актюаторного оборудования интеллектуальных модулей. Кроме того, к таким факторам относятся воздействия помех на электронные компоненты цифрового блока управления, а также на системные каналы передачи информационных векторов g и векторов управления d . Здесь следует уточнить, что понимается под информационным вектором объекта управления.

Определение 3. Информационный вектор объекта управления – это совокупность параметров (количественных и качественных, приборных и экспертных), которая отображает в интеллектуальной мехатронной системе фактическое текущее состояние указанного объекта.

Для реализации процессов цифрового управления в соответствии с целевыми задачами мехатронной системы множество XS^* нуждается в предварительной кластеризации. Эта процедура выполняется для того, чтобы каждому выделенному кластеру состояний можно было поставить в соответствие более предпочтительное состояние или обеспечить неизменность текущего состояния. В случае необходимости кластеризация позволяет осуществить требуемый переход между состояниями системы с помощью определенных сигналов и команд управления. Такой подход предполагает в каждом цикле управления выполнение операций сопоставления фактической информации текущего вектора g с результатами предварительной кластеризации. Это, в принципе, обеспечивает фактическое дискретное преобразование возможных исходных состояний объекта управления и системы, а также использование полученного дискретного базиса для идентификации состояний и выработки параметров (координат) векторов управления d .

Предположим, что при анализе процесса функционирования мехатронной системы S вы-

полнена предварительная экспертная кластеризация множества XS^* и в соответствии с целевыми задачами выделено дискретное подмножество наиболее существенных и практически осуществимых системных состояний:

$$XS = \{XS_i\}, i = 1, 2, \dots, n; \quad (1)$$

$$XS \in XS^*. \quad (2)$$

В указанном множестве XS на основе наборов целевых критериев, характерных для систем конкретного функционального назначения, априорно может быть выделено дискретное подмножество наиболее предпочтительных (или благоприятных) состояний:

$$X = \{X_j\}, j = 1, 2, \dots, m; \quad (3)$$

$$X \in XS \in XS^*. \quad (4)$$

Параметры элементов структуры мехатронной системы с цифровым управлением должны, с одной стороны, обеспечивать полноценное отображение выделенных дискретных состояний, а с другой – наиболее правдоподобную идентификацию состояний по текущим параметрам информационных векторов g [2, 3]. Опираясь на предложенную характеристику процесса идентификации состояний объекта управления, можно говорить и о таком его свойстве, как неопределенность данных состояний.

Определение 4. Неопределенностью состояния объекта управления можно назвать такую ситуацию, в которой значения параметров, характеризующих существенные для интеллектуальной мехатронной системы свойства объекта, своевременно не измерены или не обновлены в текущем цикле функционирования, что затрудняет или исключает возможность выработки системой адекватных управляющих воздействий. В идеальном случае требуется, чтобы неопределенность относительно текущего состояния объекта управления и системы полностью отсутствовала, а оценка нахождения объекта и системы в фактическом состоянии выполнялась с вероятностью, равной 1.

В качестве меры информационной эффективности управления в каждом цикле работы интеллектуальной мехатронной системы целесообразно выбрать степень соответствия синтезированных параметров вектора управления d

результатам идентификации текущего состояния системы. Управляемость и соответствующее ограничение возможного разнообразия в поведении объекта управления и системы могут быть достигнуты исключительно за счет выработки системой достаточного количества различных векторов управления d , реализуемых с помощью наборов сигналов и команд. Учитывая важность представлений о результативности функционирования системы, следует определить содержание понятия «информационный критерий эффективности управления».

Определение 5. Информационный критерий эффективности управления представляет собой количественное выражение степени соответствия синтезированных в интеллектуальной мехатронной системе параметров вектора управления результатам идентификации текущего состояния системы.

Будем полагать, что мехатронная система при обработке очередного вектора управления d_t целенаправленно переходит из текущего состояния XS_i в более предпочтительное состояние X_j или сохраняется в текущем состоянии. При этом векторы управления выбираются из допустимого множества $D = \{d_t\}$, $t = 1, 2, \dots, w$. В соответствии с формальным представлением закона У. Р. Эшби о необходимом разнообразии системное управление осуществимо и действительно только при соблюдении условия энтропийного баланса [4]:

$$H(X) \geq H(XS) - H(D) + H(XS/D); \quad (5)$$

$$H(D) - H(XS/D) = I(D, XS), \quad (6)$$

где $H(X)$, $H(XS)$, $H(D)$ – значения безусловной энтропии, характеризующие соответственно разнообразие множества выборов наиболее предпочтительных состояний X , разнообразие множества возможных состояний объекта управления и системы XS и множества векторов управления D ; $H(XS/D)$ – условная энтропия, характеризующая неопределенность состояния объекта после выбора и обработки исполнительным механизмом вектора управления; $I(D, XS)$ – количество информации в цифровом блоке управления относительно множества XS .

Условие энтропийного баланса устанавливает тот факт, что при управлении энтропию

состояний объекта можно понизить на величину информации, содержащейся в блоке управления. В информационном аспекте это условие указывает на невозможность снижения энтропии при отсутствии управления, что в известной мере соответствует второму началу термодинамики о невозможности невосполняемого кругового энергообмена. Поэтому для обеспечения управления необходимо принятие таких системных проектных решений, которые приводят к ограничению возможного разнообразия в поведении объекта управления и системы и, следовательно, минимизируют энтропию $H(X)$. Очевидным способом уменьшения энтропии $H(X)$ является снижение безусловной энтропии $H(XS)$ объекта управления и мехатронной системы.

Оценка состояний объекта управления в интеллектуальной мехатронной системе

На основе предварительного моделирования процессов функционирования мехатронной системы S , последующего системного анализа и экспертной кластеризации могут быть выделены и специфицированы существенные системоразличимые состояния $\{XS_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, а также определены ожидаемые вероятности $\{PS_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, нахождения системы в этих состояниях. Для оценки функционально полного множества возможных состояний необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$\sum_{i=1}^n PS_i = 1. \quad (7)$$

В данном случае важнейшее значение имеет схема кластеризации, от которой существенно зависит построение алгоритмов функционирования цифрового блока в цепи управления системы (рис. 2). Анализ показывает, что эффективных результатов при построении сложных систем можно ожидать, прежде всего, в случае использования эвристико-алгоритмических методов и приемов. Для выполнения кластеризации состояний XS предлагается применить достаточно универсальный допусковый принцип, многократно апробированный в различных непрерывных системах контроля электромеханического и электронного оборудования [5].

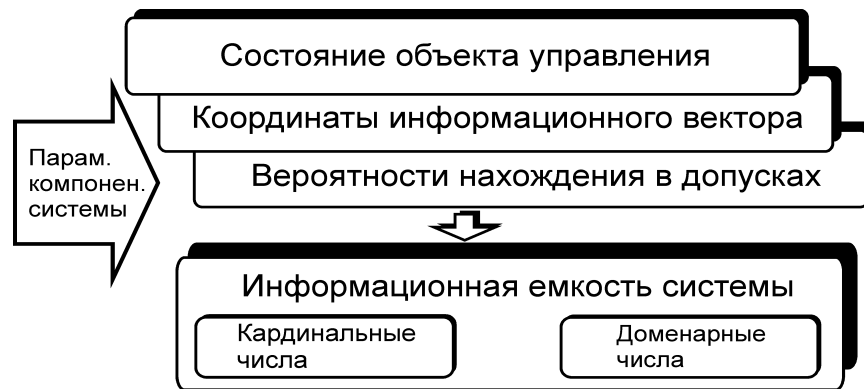


Рис. 2. Схема кластеризации системоразличимых состояний объекта управления в интеллектуальной мехатронной системе

Fig. 2. Scheme of clusterization for system distinguishing states of control object in the intellectual mechatronic system

Состояние объекта управления и мехатронной системы в каждом цикле функционирования можно оценивать по текущим значениям параметров (координат) информационных векторов

$$g_v = (\alpha_{1v}, \alpha_{2v}, \alpha_{3v}, \dots, \alpha_{rv}), \quad (8)$$

которые формируются измерительными трактами системы на основании сигналов сенсоров. В состав вектора g должны включаться только существенные параметры (в терминологии У. Р. Эшби – «главные параметры» [4]). На стадии системного анализа целесообразно полагать координаты данного вектора взаимно независимыми, что соответствует наихудшим условиям оценки энтропии $H(XS)$. При этом для формирования возможных состояний XS необходимо предложить набор значений ожидаемых вероятностей нахождения каждого из параметров в пределах (границах) требуемых допусков

$$\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_r, \quad (9)$$

где $\{\pi_z\}$; $z = 1, 2, \dots, r$ – вероятности благоприятных событий, для которых $\alpha_{zv} \in (\alpha_{zn}, \alpha_{zv})$; α_{zn}, α_{zv} – требуемый нижний и верхний пределы допуска параметра α_z для $z = 1, 2, \dots, r$ [5].

Состав «главных параметров» и пределы требуемых допусков могут быть заданы экспертами – высококвалифицированными системными аналитиками в области создания и использования мехатронных систем конкретного функционального назначения. Набор ожидае-

мых вероятностей нахождения каждого из параметров в пределах требуемых допусков устанавливается путем моделирования процессов формирования и получения векторов $g_v = (\alpha_{1v}, \alpha_{2v}, \alpha_{3v}, \dots, \alpha_{rv})$ блоком цифрового управления. Определяющими факторами, которые оказывают существенное влияние на вероятности $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_r$, являются чувствительность и разрешающая способность сенсоров, точностные параметры трактов измерения, достоверность передачи параметров по системным каналам, техническая надежность аппаратуры, алгоритмы оцифровки и обработки сенсорной информации.

Определение 6. Информационную емкость интеллектуальной мехатронной системы можно представить как совокупность текущих параметров, которые характеризуют существенные свойства объекта управления и самой системы, подлежат контролю, обработке, накоплению или обновлению в циклах функционирования системы для обеспечения синтеза адекватных управляющих воздействий. Указанная совокупность текущих параметров R определяется составом существенных свойств системных объектов и внешних явлений, кардинальными и доменарными числами

$$R = \sum_{i=1}^a \mu_i r_i + \sum_{k=1}^b r_k. \quad (10)$$

Каждый системный объект i -го типа $O_i = \{O_{ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, a$; $j = 1, 2, \dots, \mu_i$, характеризуется кардинальным числом μ_i , которое задает

количество экземпляров O_{ij} объекта типа i , и доменарным числом r_i , соответствующим количеству существенных физических или иных свойств объектов этого типа. Внешние явления $\{E_k\}$, $k = 1, 2, \dots, b$, представляются в системе единичными экземплярами ($\mu_k = 1$), количество существенных свойств каждого из которых определяется доменарным числом r_k .

Рассмотрим достаточно интересный с теоретической и практической точек зрения случай, когда в системе обеспечивается управление одним условным объектом, а параметры внешних явлений приведены к параметрам данного условного объекта: $a = 1$; $\mu = 1$; $b = 0$; $R = r$ (табл. 1). При размерности r информационного вектора g максимальное количество дискретных состояний условного объекта управления и системы, которые могут быть выделены при использовании предлагаемой схемы кластеризации, равно 2^r . Первое состояние XS_1 множества XS в данном примере задается как состояние нахождения всех параметров вектора g в пределах требуемых допусков. Такое состояние является единственным и в циклах управления реализуется с вероятностью PS_1 . Ко второй группе состояний $XS_2, XS_3, \dots, XS_{(r+1)}$ могут быть отнесены состояния нахождения в необходимых пределах всех параметров вектора g , за исключением любого одного параметра. Количество таких состояний r и вероятность их реализации для $p = 1, 2, 3, \dots, r$ равны PS_i при $i = 2, 3, \dots, r, r + 1$. К третьей группе относятся состояния $XS_{(r+2)}, XS_{(r+3)}, \dots, XS_{(r(r-1)/2!+2)}$ нахождения всех параметров вектора g , за исключением любых двух параметров, в пределах требуемых допусков. Количество таких состояний равно $r(r-1)/2!$, и они реализуются с вероятностями PS_i при $i = r + 2, r + 3, r(r-1)/2! + 2$ для $p = 1, 2, 3, \dots, r$; $q = 1, 2, \dots, r$; $p \neq q$.

Аналогичным образом строятся остальные группы состояний, имеющие номера 4, 5, ..., $(r-1)$, за исключением последней (четвертой) группы. К данной группе может быть отнесено состояние (с номером r) нахождения всех параметров вектора g вне пределов требуемых допусков. Такое состояние является единственным, и в циклах управления вероятность его реализации равна PS_r . Во всех выражениях для вероятности реализации состояний интеллектуальной мехатронной системы N – коэффициент нормирования.

Таблица 1

Вероятности нахождения параметров мехатронной системы в пределах требуемых допусков
Probabilities for location of mechatronic parameters within the required tolerances

Группа состояний	Вероятность реализации состояний интеллектуальной мехатронной системы
I	$PS_1 = N \prod_{k=1}^r \pi_k$
II	$PS_i = N (1 - \pi_p)^{r-1} \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^{r-1} \pi_k$ $i = 2, 3, \dots, r, r + 1$
III	$PS_i = N (1 - \pi_p)(1 - \pi_q)^{r-2} \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq p, k \neq q}}^{r-2} \pi_k$ $i = r + 2, r + 3, r(r-1)/2! + 2$
IV	$PS_r = N \prod_{k=1}^r (1 - \pi_k)$
$N = \frac{1}{\left[\prod_{k=1}^r \pi_k + \sum_{p=1}^r (1 - \pi_p)^{r-1} \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^{r-1} \pi_k + \dots + \prod_{k=1}^r (1 - \pi_k) \right]}$	

Энтропия $H(XS)$, характеризующая разнообразие множества возможных состояний объекта управления и системы XS , задается следующим соотношением [6]:

$$H(XS) = - \sum_{i=1}^{n=2} PS_i \log PS_i. \quad (11)$$

Если координатами информационного вектора g являются только «главные параметры», а второстепенные, малозначащие параметры данного вектора экспертами (системными аналитиками) из рассмотрения исключены, то фактическое уменьшение энтропии $H(XS)$ принципиально возможно следующими способами:

- огрублением информации и искусственным уменьшением размерности r информационного вектора экспертным путем;
- за счет дополнительной иерархической кластеризации состояний на втором или на более высоких уровнях и введения иерархии уровней управляющих воздействий.

Определение 7. Под иерархией управляющих воздействий интеллектуальной мехатронной системы будем понимать упорядоченное множество уровней функционирования нисходящей информационной цепи, объединенных причинно-следственными связями, предполагая, что управляющие воздействия на каждом из нижележащих уровней синтезируются в зависимости от воздействий, сформированных на вышележащих уровнях.

Первый способ уменьшения энтропии $H(XS)$ может быть реализован путем установления практической границы системной различимости состояний, при этом специфицируются первое состояние, состояния второй группы, состояния третьей группы и так далее до границы различимости. Остальные состояния заменяются одним укрупненным состоянием с суммарной вероятностью реализации. Такой способ ведет к упрощению алгоритмов функционирования цифрового блока управления и сокращению общего времени выработки ответных реакций. Правомочность указанного проектного решения определяется экспертами в зависимости от конкретного функционального назначения мехатронной системы. Однако следует отметить, что этот прием уменьшения энтропии допустим не для всех классов и типов мехатронных систем.

Второй способ ведет к усложнению структуры множества XS и, следовательно, к неминусемому усложнению структуры всей системы, что сопровождается увеличением по времени продолжительности выработки управляющих воздействий.

Вероятностный выбор благоприятных состояний интеллектуальной мехатронной системы

Моделирование процессов управления позволяет оценить вероятности $\{P_{ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, n = 2^r; j = 1, 2, \dots, m$, выбора в циклах управления наиболее благоприятных, по мнению системных аналитиков, состояний

$$\sum_{j=1}^m P_{ij} = 1. \tag{12}$$

Достижение требуемых состояний реализуется за счет целенаправленного применения различных вариантов системных решений и соответствующих им управляющих векторов

и воздействий. При комплексном информационном описании процессов управления целесообразно использование метода экспертного задания для различных пар системных состояний $\{XS_i, X_j\}$ вероятностей $\{P_{tij}\}$, $t = 1, 2, \dots, w; i = 1, 2, \dots, n = 2^r; j = 1, 2, \dots, m$, выбора в циклах управления допустимых векторов управления $d_t \in D$, которые обеспечивают перевод системы в благоприятные состояния. В результате этого может быть сформирован вероятностный параллелепипед, на основе которого порождаются основные компоненты энтропийного баланса процессов управления в интеллектуальной мехатронной системе (рис. 3). При этом число возможных управляющих воздействий определяется произведением $n = 2^r m w$.

Определение 8. Энтропийный баланс процессов управления в интеллектуальной мехатронной системе – это представление полной энтропии дерева выбора управляющих воздействий D для реализации всех пар возможных состояний $\{XS_i, X_j\}$ системы в виде суммы частных энтропий поддеревьев $\{D, XS_i, X_j\}$.

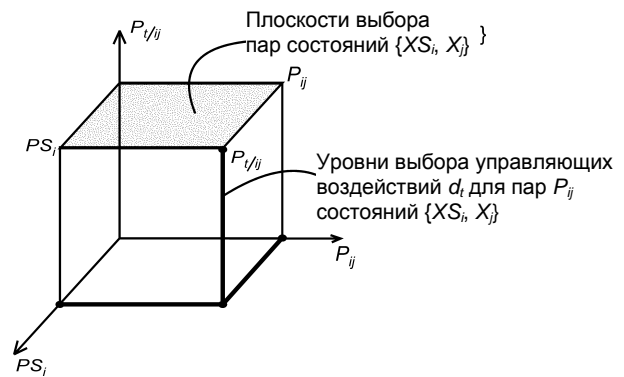


Рис. 3. Вероятностный параллелепипед порождения основных компонентов энтропийного баланса процессов управления в интеллектуальной мехатронной системе

Fig. 3. Probabilistic parallelepiped for origination of main components of entropy balance in control processes of intellectual mechatronic system

Значение полной энтропии выбора управляющих воздействий из множества D для обеспечения всех пар состояний $\{XS_i, X_j\}$ может быть получено путем сложения частных энтропий по всем элементам множества D, X, XS

$$H(D) = - \sum_{t=1}^w \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n=2} P_{tij} \log P_{tij}, \tag{13}$$

где P_{tij} – полная вероятность выбора управляющего воздействия d_t в точке $\{XS_i, X_j\}$.

Определение 9. Вероятностным выбором благоприятных состояний интеллектуальной мехатронной системы будем называть решения на ее перевод в более благоприятные состояния (информационные, энергетические, позиционные) или на сохранение неизменным ее текущего состояния на основе оценки априорной вероятности нахождения системы в текущем состоянии.

На практике для большинства интеллектуальных мехатронных систем вероятностные процессы выбора благоприятных системных состояний и векторов управления с приемлемым уровнем приближения могут считаться статистически независимыми. Поэтому можно сделать допущение, что справедливо равенство $P_{ij} = P_{t/ij}P_{ij}$, и в этом случае выражение (13) принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} H(D) &= - \sum_{t=1}^w \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n=2} (P_{t/ij}P_{ij}) \log(P_{t/ij}P_{ij}) = \\ &= - \sum_{t=1}^w \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n=2} (P_{t/ij}P_{ij}) \log P_{t/ij} - \\ &\quad - \sum_{t=1}^w \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n=2} (P_{t/ij}P_{ij}) \log P_{ij}. \end{aligned} \quad (14)$$

С целью минимизации энтропии $H(X)$ требуется принятие проектных решений, при которых $H(D) \rightarrow H(XS)$. Необходимо отметить, что использование предложенной схемы кластеризации приводит к сужению области допустимого выбора более благоприятного состояния X_j для некоторого исходного состояния XS_i в плоскостях $\{XS_i, X_j\}$. Указанная область выбора ограничивается номерами групп, к которым относятся состояния XS_i . Следует учитывать также, что рациональное управление d_t должно сопровождаться переводом объекта и системы в состояния только тех групп, которые имеют меньшие номера. В связи с этим в техническом отношении наиболее приемлемо не формальное изменение уровня неопределенности в выборе векторов управления, а планомерные системотехнические действия по расширению управленческого ресурса, включающего весь диапазон возможных приемов и способов управления. На основании [2, 3], а также с учетом вышеизложенного определим понятие управленческого ресурса интеллектуальной мехатронной системы.

Определение 10. Под управленческим ресурсом интеллектуальной мехатронной системы понимается спектр (общее количество и возможное разнообразие) способов управления, применяемых в системе для обеспечения процессов манипулирования информационными и энергетическими потоками, системными очередями и каналами передачи данных, аппаратными, программными и информационными компонентами.

Условная энтропия $H(XS/D)$ указывает на сохранение неопределенности в состоянии объекта и системы после выбора и отработки вектора управления. Значение условной энтропии определяется уровнем достоверности адекватной отработки управляющих воздействий на основе параметров вектора управления; данный уровень достоверности характеризуется энтропией $H(h/D)$. На величину условной энтропии оказывает влияние также уровень достоверности передачи по каналам системы параметров векторов управления d_t для которого характерна энтропия $H(\Delta d/d)$. Таким образом, выражение для $H(XS/D)$ принимает следующий вид:

$$H(XS/D) = H(h/D) + H(\Delta d/d), \quad (15)$$

где

$$H(h/D) = - \sum_{t=1}^w \sum_{l=1}^L Q_{lt} \log Q_{lt}; \quad (16)$$

Q_{lt} – вероятность адекватной отработки исполнительным механизмом параметра β_{lt} вектора управления d_t .

Принятая оценка неопределенности состояния интеллектуальной мехатронной системы может быть положена в основу определения информационной эффективности ее функционирования.

Определение 11. Информационный эффект функционирования интеллектуальной мехатронной системы заключается в снижении неопределенности ее информационного состояния, достигаемом в результате реализации синтезированных управляющих воздействий.

Существенно повысить достоверность передачи информационных векторов g и векторов управления d позволяет применение эффективных корректирующих кодов, выбор которых зависит от типа системных каналов (волоконно-оптических, проводных или радиоканалов). Однако при этом также не обеспечивается абсолютная достоверность передаваемой информации – во всех случаях $H(\Delta d/d) \neq 0$ [7].

Следует особо подчеркнуть, что составляющую $H(XS/D)$ энтропийного баланса необходимо рассчитывать для каждого альтернативного технико-алгоритмического решения и применять такой вариант данного решения, который обеспечивает минимальное значение $H(XS/D)$ [7–10].

ВЫВОД

При выборе и определении наиболее общих информационных подходов, технологий и характеристик для анализа работы интеллектуальных мехатронных систем учитывалось, что эффективность их функционирования в существенной мере определяется применяемыми информационными технологиями. Поэтому в качестве основополагающего фактора, влияющего на процессы проектирования мехатронной системы с цифровым управлением, рассматривается общность информационных требований с ее интеллектуальными компонентами. Информационным критерием эффективности управления в каждом цикле функционирования интеллектуальной мехатронной системы считается степень соответствия параметров векторов управления результатам идентификации текущих состояний системы. Достижение основного результата при функционировании интеллектуальной мехатронной системы также предлагается оценивать получаемым информационным эффектом. Данный подход позволил выявить основные информационно-технические характеристики интеллектуальных мехатронных систем и определить связи между особенностями структурного построения системы, спецификой объекта управления и правилами выработки управляющих воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулай, А. В. Проектирование интеллектуальных мехатронных систем: информационный кластерный подход / А. В. Гулай, В. М. Зайцев // Информационные технологии в промышленности (ИТГ2015): тез. докл. VIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2–3 апр. 2015 г. Минск, 2015. С. 121–123.
2. Гулай, А. В. Интеллектуальные технологии синтеза стратегических решений при создании сложных систем / А. В. Гулай, В. М. Зайцев // Электроника-инфо. 2014. № 5. С. 24–27.
3. Гулай, А. В. Эвристико-алгоритмические методы в интеллектуальных технологиях проектирования системно-технических комплексов / А. В. Гулай, В. М. Зайцев // Новый университет. 2014. № 2 (24). С. 7–11.

4. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби. М.: Иностранная лит-ра, 1959. 432 с.
5. Основы технической диагностики / В. В. Карибский [и др.]. М.: Энергия, 1976. 464 с.
6. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. М.: Наука, 1969. 576 с.
7. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. М.: Иностранная лит-ра, 1963. 829 с.
8. Смит, С. Цифровая обработка сигналов / С. Смит; пер. А. Ю. Линович, С. В. Витязев, И. С. Гусинский. М.: ДодЭка-XXI, 2008. 720 с.
9. Феер, К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / К. Феер; пер. с англ. В. И. Журавлев. М.: Радио и связь, 2000. 520 с.
10. Кларк, Дж. К. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Дж. К. Кларк, Дж. Б. Кейн; пер. с англ. С. И. Гельфанда. М.: Радио и связь, 1987. 391 с.

Поступила 29.09.2015

Подписана в печать 27.11.2015

Опубликована онлайн 28.07.2016

REFERENCES

1. Gulay A. V., Zaytsev V. M. (2015) Designing of Intellectual Mechatronic Systems: Informative Cluster Approach. *Information Technologies in Industry. ITG2015. The Eighth International Scientific Conference. April 2–3, 2015, Minsk*. Minsk, UIIP NASB, 121–123 (in Russian).
2. Gulay A. V., Zaytsev V. M. (2014) Intellectual Technologies for Synthesis of Strategic Solutions while Developing Complicated Systems. *Elektronika-Info [Elektronika-Info]*, (5), 24–27 (in Russian).
3. Gulay A. V., Zaytsev V. M. (2014) Heuristic and Algorithm Methods for Intellectual Technologies on Designing Complex Socio-Technical Systems. *Novy Universitet [New University]*, 24 (2), 7–11 (in Russian).
4. Ashby W. R. (1959) *Introduction to Cybernetics*. Moscow, Publishing House “Inostrannaya Literatura”. 432 (in Russian).
5. Karibskii V. V., Parkhomenko P. P., Sogomonian E. S., Khalchev V. F. (1976) *Fundamentals of Technical Diagnostics*. Moscow, Energia. 464 (in Russian).
6. Venttsel E. S. (1969) *Theory of Probabilities*. Moscow, Nauka. 576 (in Russian).
7. Shannon K. (1963) *Works on the Theory of Informatics and Cybernetics*. Moscow, Publishing House “Inostrannaya Literatura”. 829.
8. Smith S. W. (1997) *Digital Signal Processing. The Scientist and Engineer's Guide*. San Diego, California California Technical Publishing. 650 (Russ. ed.: Smith S. (2008) *Tsifrovaia Obrabotka Signalov*. Moscow, Publishing House “DodEka-XXI”. 720).
9. Feher K. (1995) *Wireless Digital Communications: Modulation and Spread Spectrum Applications*. Prentice Hall PTR. 544 (Russ. ed.: Feher K. (2000) *Besprovodnaia Tsifrovaia Sviaz. Metody Moduliatsii i Rasshireniia Spectra*. Moscow, Radio i Svyaz. 520).
10. Clark G. C., Cain J. B. (1981) *Error-Correction Coding for Digital Communications*. New York, Springer US. 422. DOI 10.1007/978-1-4899-2174-1 (Russ. ed.: Clark G. C., Cain J. B. (1987) *Kodirovanie s Ispravleniem Oshibok v Sistemakh Tsifrovoi Sviazi*. Moscow, Radio i Svyaz. 391).

Received: 29.09.2015

Accepted: 27.11.2015

Published online: 28.07.2016