

УДК 519.8

В. А. ТВЕРДОХЛЕБОВ

Институт проблем точной механики и управления РАН, Россия

СОВМЕЩЕНИЕ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ПАРИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ

Раздельное решение задач контроля, диагностирования и парирования дефектов не позволяет получать эффективные решения. В связи с этим вводятся модели и методы, которые позволяют совмещать решение этих задач в единый теоретически и интуитивно обозримый процесс. В статье предложен новый вид моделей процессов функционирования СЧМС и метод уточнения и расширения таких моделей. Моделью процесса функционирования полагается последовательность бинарных отношений, в которой каждая часть процесса представлена бинарным отношением, связывающим значения показателей свойств процессов и изменения значений показателей.

Ключевые слова: сложная человеко-машинная система, функциональный отказ, контроль, диагностирование, парирование, бинарное отношение, операторы сокращения бинарных отношений.

Введение

Обеспечение и поддержание безопасности функционирования сложных человеко-машинных систем (СЧМС) возможно только совместным решением задач контроля, диагностирования и парирования дефектов. В основе предлагаемых моделей для методов контроля и диагностирования СЧМС лежит "модель $T(t)$ конкретного процесса функционирования СЧМС" для конкретного момента времени t . Основной формой модели $T(t)$ будет являться таблица, в заглавной строке которой размещаются имена свойств процессов, а в заглавном столбце - имена частных процессов, взаимосвязи и взаимодействия которых образуют общий процесс функционирования СЧМС. Объединение моделей вида $T(t)$, которое будем обозначать $T^*(t)$, рассматривается как формальное представление информации о допустимых

значениях показателей свойств процессов, включающее фактические значения показателей. Места моделей $T(t)$ и $T^*(t)$ и их взаимосвязи в структуре систематизации информации о процессах в СЧМС представлены в схеме, изображенной на рис. 1.

В схеме, изображенной на рис. 1., пунктирным прямоугольником выделены наборы таблиц конкретных вариантов процессов функционирования, которые представляют информацию о процессе функционирования СЧМС в конкретный момент и эти наборы подлежат сокращению в соответствии с дополнительной информацией о процессе функционирования.

Выбор моментов времени t_1, t_2, \dots, t_c для разбиения процесса функционирования на части определяется спецификой этапов процессов, возможностями средств контроля и диагностирования, возможными изменениями процесса функционирования СЧМС и т.п.

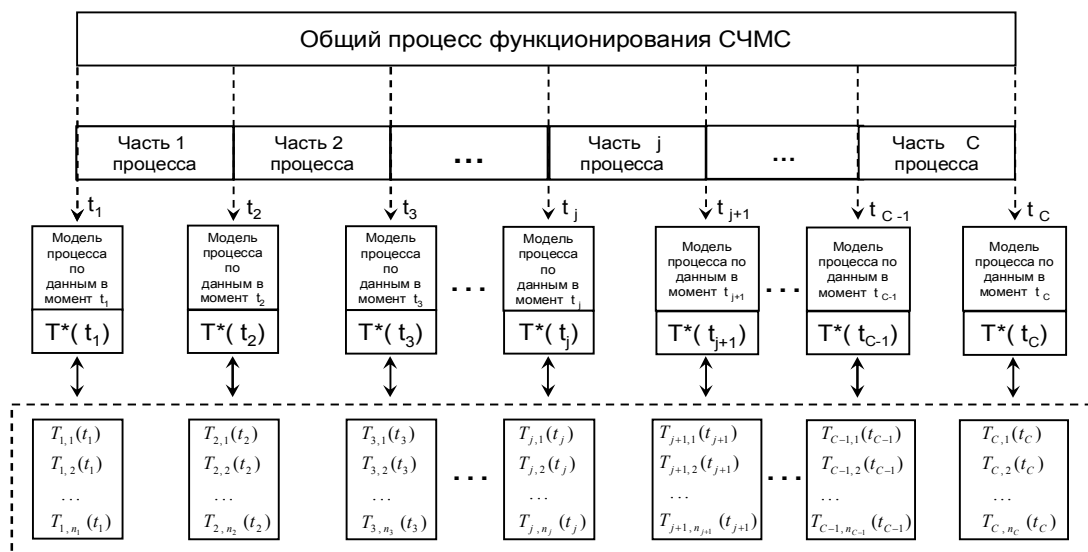


Рис. 1. Схема структуры связей частей процесса с моделями вида $T^*(t)$ и $T(t)$

1. Модели процессов функционирования СЧМС

Для того, чтобы на практике строить таблицы вида $T^*(t)$ и $T(t)$ рассмотрим указанные в введении классы процессов: класс P_1 командно-информационных, управляющих процессов; класс P_2 процессов действий человеческих звеньев; класс P_3 процессов функционирования техники и оборудования; класс P_4 процессов энергообеспечения; класс P_5 процессов обеспечения СЧМС сырьем, грузами, пассажирами и т.п.; класс P_6 - процессов взаимодействий с внешней средой (метеоусловиями и др.); классы $P_7 - P_{63}$ - процессов, полученных взаимодействиями базовых процессов в сочетаниях по два, по три, ..., всех шести.

Для классов $P_1 - P_{63}$ невозможно построить общих, достаточно полных и точных, моделей. Кроме этого, заполнение таблиц $T^*(t)$ и $T(t)$, в которых представлены значения показателей свойств процессов, требует знаний, определенных математическими средствами. Это означает, что в классах процессов $P_1 - P_{63}$ должны рассматриваться конкретные (частные) физические, механические, информационные, физиологические и другие конкретные процессы. Для каждого класса процессов P_i ,

$1 \leq i \leq 63$, выделим и определим конкретные процессы $P_{i,1}, P_{i,2}, \dots, P_{i,n_i}$, которые реализуют процесс P_i и представляют его в таблицах $T^*(t)$ и $T(t)$. Следовательно, в таблицах $T^*(t)$ и $T(t)$ представлены процессы

$$P_{1,1}, P_{1,2}, \dots, P_{1,n_1}, \dots, P_{63,1}, P_{63,2}, \dots, P_{63,n_{63}} \quad (1)$$

значениями показателей их свойств. Будем предполагать, что процессы определяются по свойствам R_1, R_2, \dots, R_k и каждое свойство $R_i, 1 \leq i \leq k$, определяется значением из множества значений W_i . В соответствии с этим таблица $T(t)$ имеет структуру, изображенную на рис. 2.

Средства получения контрольной и диагностической информации определяют значения показателей свойств процессов приближенно. В связи с этим информация о процессе функционирования СЧМС в конкретный момент времени t представляется набором таблиц вида таблицы 1, каждая из которых не может быть исключена из множества возможных таблиц.

Таблица 1

Табличная модель процесса функционирования в конкретный момент времени t

T(t)			R_1	...	R_k
1	2	3	4	...	$k+3$
H_1	$P_1(t)$	$P_{1,1}(t)$	$w_{1,1,1}(t)$	...	$w_{1,1,k}(t)$
		$P_{1,2}(t)$	$w_{1,2,1}(t)$	...	$w_{1,2,k}(t)$
	
		$P_{1,n_1}(t)$	$w_{1,n_1,1}(t)$	...	$w_{1,n_1,k}(t)$
H_2	$P_2(t)$	$P_{2,1}(t)$	$w_{2,1,1}(t)$	...	$w_{2,1,k}(t)$
		$P_{2,2}(t)$	$w_{2,2,1}(t)$	...	$w_{2,2,k}(t)$
	
		$P_{2,n_2}(t)$	$w_{2,n_2,1}(t)$	...	$w_{2,n_2,k}(t)$
...
H_{63}	$P_{63}(t)$	$P_{63,1}(t)$	$w_{63,1,1}(t)$	...	$w_{63,1,k}(t)$
		$P_{63,2}(t)$	$w_{63,2,1}(t)$	...	$w_{63,2,k}(t)$
	
		$P_{63,n_{63}}(t)$	$w_{63,n_{63},1}(t)$	...	$w_{63,n_{63},k}(t)$

Общий процесс функционирования СЧМС определяется последовательностью бинарных отношений $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{C-1}$, где для каждого $j, 1 \leq j \leq C-1$,

$$\rho_j \subset \{T_{j,1}(t_j), T_{j,2}(t_j), \dots, T_{j,n_j}(t_j)\} \times \{T_{j+1,1}(t_{j+1}), T_{j+1,2}(t_{j+1}), \dots, T_{j+1,n_{j+1}}(t_{j+1})\}. \quad (2)$$

Первая $Pr_1 \rho_j$ и вторая $Pr_2 \rho_j$ проекции бинарного отношения вида ρ_j , а также само ρ_j определяются теоретически, по фактическим данным и используемым статистическим данным. Применение этих средств позволяет уточнять $Pr_1 \rho_j$ и $Pr_2 \rho_j$ и сокращать бинарное отношение ρ_j . Для таких сокращений используются операторы: $\theta_1(\rho) = \rho \circ \Delta_r$ (сокращение $Pr_1 \rho_j$), $\theta_2(\rho) = \Delta_r \circ \rho$ (сокращение $Pr_2 \rho_j$), $\theta_3(\rho) = \Delta_{r_2} \circ \rho \circ \Delta_{r_1}$ (сокращение обеих проекций), $\theta_\sigma(\rho) = \rho \cap \sigma$ (исключение пар из ρ).

(Определение умножения "o": для любых ρ_i и ρ_j $\rho_j \circ \rho_i = \{(a, c) : \exists b (a, b) \in \rho_i \ \& \ (b, c) \in \rho_j\}$.) Имеет место теорема (приводится без доказательства).

Теорема 1. Операторы $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_\sigma$ попарно не эквивалентны. Операторы $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ представимы как операторы вида θ_σ . Оператор θ_3 представим в виде $\theta_3(\rho) = \theta_1(\rho) \cap \theta_2(\rho)$.

Если процесс функционирования, рассматриваемый в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_c , определен последовательностью бинарных отношений

$$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{C-1} \quad (3)$$

и имеется дополнительная информация u_1, u_2, \dots, u_c о проекциях бинарных отношений, то последовательность (3) с использованием операторов $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_\sigma$ преобразуется к более точному описанию фактического процесса функционирования

$$\rho'_1, \rho'_2, \dots, \rho'_{C-1}. \quad (4)$$

Последовательное уточнение модели процесса функционирования на основе сокращения проекций бинарных отношений может привести к прекращению сокращения бинарных отношений по информации, получаемой только в моменты t_1, t_2, \dots, t_c . Возникает задача уточнения модели процесса функционирования по информации, получаемой в дополнительные моменты времени. Такое уточнение может быть осуществлено разложением бинарного отношения на произведение двух бинарных отношений с интерпретацией поступления новой информации в дополнительные моменты времени. Для этого рассмотрены следующие отношения:

$$\sigma \circ \sigma_z \subset \rho, \quad (5)$$

$$\sigma_z \circ \sigma \subset \rho. \quad (6)$$

В левой части формул появляются дополнительные проекции бинарных отношений:

$$Pr_1 \sigma, Pr_2 \sigma, Pr_1 \sigma_z, Pr_2 \sigma_z.$$

Дополнительная информация о значениях показателей свойств процесса функционирования в промежуточные моменты времени может быть использована для сокращения бинарных отношений σ и σ_z с последующим сокращением бинарного отношения ρ . Произвольное представление ρ сомножителями σ и σ_z по бинарному отношению ρ не однозначно. Поэтому в следующих теоремах представление ρ произведением двух сомножителей определяется по бинарному отношению ρ и одному из сомножителей.

Теорема 2. Для заданных бинарных отношений ρ и σ наибольшее по числу пар бинарное отношение σ_z , удовлетворяющее условию $\sigma \circ \sigma_z \subset \rho$, определяется формулой

$$\sigma_z = \{(a, b) : \sigma \langle b \rangle \subset \rho \langle a \rangle\}, \quad (7)$$

где срез бинарного отношения γ по элементу из первой проекции определяется формулой $\gamma \langle e \rangle = \{r : (e, r) \in \gamma\}$.

Теорема 3. Для заданных бинарных отношений ρ и σ бинарное отношение

$$\sigma_z = \bigcup_{b \in B} \left\{ \{b\} \times \bigcap_{a \in A \langle b \rangle} \rho \langle a \rangle \right\}, \quad (8)$$

где $B = Pr_2 \sigma$ и $A(b) = (\sigma \circ \Delta_B)^{-1} \langle b \rangle$, является наибольшим по числу пар, удовлетворяющим отношению $\sigma_z \circ \sigma \subset \rho$.

Теоремами 1-3 определены средства для пополнения и уточнения моделей процессов функционирования СЧМС, представленных последовательностями бинарных отношений между таблицами, содержащими значения показателей свойств процессов.

2. Предварительные замечания о взаимосвязях процедур контроля, диагностирования и парирования дефектов

Множество таблиц

$$T^*(t) = \{T_1(t), T_2(t), \dots, T_n(t)\},$$

где $T_i, 1 \leq i \leq n$, - таблицы вида таблицы 1 полагается моделью процесса функционирования в момент t . Бинарное отношение $\rho_t \subset T^*(t) \times T^*(t+1)$ определяет часть процесса функционирования, выделен-

ную моментами t и $t+1$, и рассматривается как модель этой части процесса. На рис. 2 показаны связи модели ρ_0 процесса функционирования с одновременным контролем, моделей $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_v$ процессов функционирования с диагностированием дефектов и моделей парирования дефектов $\rho_{i, i_j}, 1 \leq i \leq n, 1 \leq i_j \leq m_i$. Приведенные в параграфе 1 средства сокращения бинарных отношений позволяют упрощать модели процессов любого из указанных видов. Схема, изображенная на рис. 2, имеет следующую интерпретацию. Множество $Pr_1 \rho_0$ содержит таблицы, соответствующие работоспособному функционированию, а $Pr_2 \rho_0$ содержит таблицы, рассматриваемые как определенные контролем нарушения работоспособности. Множества $Pr_2 \rho_i, 1 \leq i \leq v$, соответствуют вариантам дефектов. Результаты парирования дефектов предполагаются представленными вторыми проекциями и их

связями с первыми проекциями бинарных отношений $\rho_{i, i_j}, 1 \leq i \leq n, 1 \leq i_j \leq m_i$.

В таблицах вида таблицы 1 определяется состояние процесса в конкретный момент. Для реальной СЧМС фактические процессы характеризуются значениями свойств, которые предполагаются ограниченными. Введение таких ограничений может быть представлено в форме таблиц 2.

Заключение

Разработан и предложен новый вид моделей процессов функционирования СЧМС и метод уточнения и расширения таких моделей. Моделью процесса функционирования полагается последовательность бинарных отношений, в которой каждая часть процесса представлена бинарным отношением, связывающим значения показателей свойств процессов и изменения значений показателей. Использование таких моделей процессов позволяет:

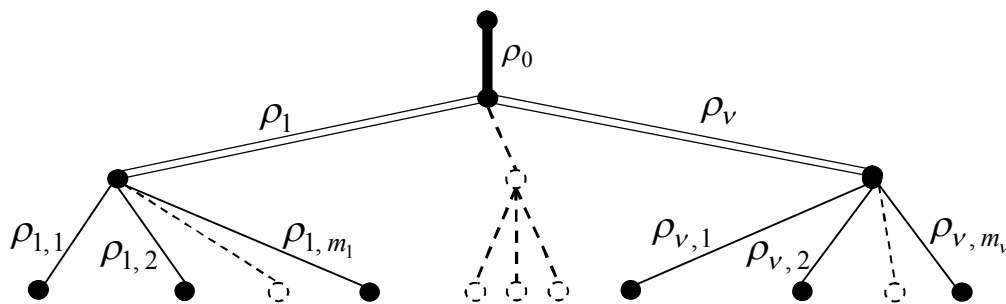


Рис. 2. Схема связей моделей процессов функционирования с одновременными решениями задач контроля ρ_0 , диагностирования $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_v$ и парирования дефектов $\rho_{i, i_j}, 1 \leq i \leq n, 1 \leq i_j \leq m_i$.

Таблица 2

Табличная модель процесса функционирования в конкретный момент времени t

T(t)		R ₁	...	R _μ	...	R _k
1	2	3	4	...	...	k+3
H ₁	P ₁ (t)	P _{1,1} (t)	...	...	$\alpha_{1,1,\mu} \leq w_{1,1,\mu}(t) \leq \beta_{1,1,\mu}$	...
	
		P _{1,n₆₃} (t)	$\alpha_{1,n_1,\mu}(t) \leq w_{1,n_1,\mu}(t) \leq \beta_{1,n_1,\mu}(t)$...
...
H ₆₃	P ₆₃ (t)	P _{63,1} (t)	...	...	$\alpha_{63,1,\mu}(t) \leq w_{63,1,\mu}(t) \leq \beta_{63,1,\mu}(t)$	...
	
		P _{63,n₆₃} (t)	$\alpha_{63,n_{63},\mu}(t) \leq w_{63,n_{63},\mu}(t) \leq \beta_{63,n_{63},\mu}(t)$...

- формально представлять зв'язи значень показателів властивостей будь-якої природи;
- упрощати і углубляти визначення зв'язів значень показателів властивостей з використанням операторів скорочення бінарних відношень;
- включати в модель в формі послідовності бінарних відношень існуючу і нову інформацію про процеси функціонування;
- будувати класифікації процесів на основі урахування специфіки відповідних процесам моделей в формі бінарних відношень;
- визначати формальні вимоги до процедур парирования дефектів, представлені як властивості бінарних відношень.

Література

1. Твердохлебов, В. А. *Контроль і діагноз складних систем методами теорії бінарних відношень* [Текст] / В. А. Твердохлебов. – Саратов : Изд-во Саратов. Ун-та, 1967. – 30 с.

2. Богомолов, А. М. *Умови існування діагностических тестів* [Текст] / А. М. Богомолов, В. А. Твердохлебов // *Кибернетика*. – 1968. – № 3. – С. 9–19.

3. Богомолов, А. М. *Діагностика складних систем* [Текст] / А. М. Богомолов, В. А. Твердохлебов. – Киев : Наук. думка, 1974. – 128 с.

4. Твердохлебов, В. А. *Представление автоматных отображений геометрическими структурами* [Текст] : моногр. / В. А. Твердохлебов, А. С. Епифанов. – Саратов : ООО Издательский Центр «Наука», 2013. – 204 с.

5. *Безопасность критических инфраструктур: математические и инженерные методы анализа и обеспечения* [Текст] / под ред. В. С. Харченко. – Х. : Изд-во Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского ("ХАИ"), 2011. – 641 с.

Поступила в редакцію 22.01.2014, розглянута редколлегиею 24.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. А. Заславский, Киевський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна.

СУМЩЕННЯ РІШЕНЬ ЗАВДАНЬ КОНТРОЛЮ, ДІАГНОСТУВАННЯ І ПАРИРУВАННЯ ДЕФЕКТІВ

В. О. Твердохлібов

Роздільне рішення завдань контролю, діагностування та парирования дефектів не дозволяє одержувати ефективні рішення. У зв'язку з цим вводяться моделі і методи, які дозволяють комбінувати рішення цих завдань в єдиний теоретично і інтуїтивно осяжний процес. У статті описаний і запропоновано новий розроблений вид моделей процесів функціонування складних людино-машинних систем і метод уточнення та розширення таких моделей. Моделлю процесу функціонування покладається послідовність бінарних відношень, в якій кожна частина процесу представлена бінарним відношенням, що зв'язує значення показників властивостей процесів і зміни значень показників.

Ключові слова: складна людино-машинна система, функціональний відмова, контроль, діагностування, парирования, бінарне відношення, оператори скорочення бінарних відношень.

COMBINATION OF SOLVING OF PROBLEMS OF CONTROL, DIAGNOSING AND PARRYING OF DEFECTS

V. A. Tverdokhlebov

Separate solving of problems of control, diagnosing and parrying of defects prevents to receive effective solving. In this regard are offered models and methods, which allows to combine solving of this problems in single theoretically and intuitively foreseeable process. This paper describes a developed and a new kind of model of the functioning of complex human-machine systems and a method of refining and expanding such models. Model of the functioning relies upon the sequence of binary relations, in which each part of the process is represented by a binary relation, binding values of properties of processes and change the values of indicators.

Keywords: complex man-machine system, defect, functional failure, control, diagnosing, parrying, binary relation, operators of restriction of binary relations.

Твердохлебов Владимир Александрович – д-р техн. наук, гл. науч. сотр. Института проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов, Россия.