

С. Ю. ШАБАНОВ, Ю.С. НОВИКОВ

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ СЛОЖНОГО СТРУКТУРИРУЕМОГО ОБЪЕКТА В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ

В роботі представлено постановку задачі діагностування складного структурованого об'єкта з використанням моделей. Дана задача полягає в отриманні діагнозу несправностей шляхом порівняння структурного, поведінкового опису структурованого об'єкта з його реальною поведінкою з урахуванням загальних знань про предметну область. Запропоновано представлення знань складного структурованого об'єкта у вигляді композиції включених в нього об'єктів, що формалізуються за допомогою патернів, які відображають їх структуру і поведінку. Це дозволяє виконати діагностику об'єкта незалежно від специфіки предметної області, на основі структури і поведінки його складових. Отримані в результаті діагностики залежності можуть відображати зв'язки між невірними елементами і некоректною поведінкою як виду «один-до-одного», так і виду «множина-до-множини».

Ключові слова: структурований об'єкт, діагностування з використанням моделей, діагноз, представлення знань.

В работе представлена постановка задачи диагностирования сложного структурируемого объекта с использованием моделей. Данная задача заключается в получении диагноза неисправностей путем сравнения структурного, поведенческого описания структурируемого объекта с его наблюдаемым поведением с учетом общих знаний о предметной области. Предложено представление знаний сложного составного объекта, при котором объект представляется в виде композиции включенных в него объектов, формализуемых посредством паттернов, отражающих их структуру и поведение. Это позволяет выполнить диагностику объекта независимо от специфики предметной области, на основе структуры и поведения объекта и его составляющих. Полученные в результате диагностики отношения могут отражать связи между неверными элементами и некорректным поведением как вида «один-к-одному», так и вида «множество-ко-множеству».

Ключевые слова: структурируемый объект, диагностирование с использованием моделей, диагноз, представления знаний.

The paper presents a formulation of the problem of diagnosing a structured complex object using models. This objective is to obtain a diagnosis of faults by comparing the structural, behavioral description of a structured object with its observed behavior with regard to the general knowledge of the subject area. A representation of knowledge of complex composite object when the object is represented as a composition of objects included therein, formalized by means of patterns that reflect their structure and behavior. This makes it possible to diagnose the object, regardless of the specifics of the subject area, based on the structure and behavior of an object and its components. The resulting diagnostic relationships may reflect the link between incorrect elements and annoying behavior as a type of "one-to-one" and type "a set-to-set".

Keywords: structured object, model based diagnosis, diagnosis, knowledge representation.

Введение. Диагностика на основе моделей (Model Based Diagnosis, MBD) представляет собой область искусственного интеллекта, которая посвящена определению причин сбоев в поведении диагностируемого объекта или системы. При диагностировании используются два основных подхода: на основе анализа поведения диагностируемого объекта или системы; путем анализа поведения модели диагностируемого объекта или системы [1].

В первом случае в качестве входных данных используется набор симптомов отказов, которые характеризуют рассогласование между наблюдаемым и ожидаемым поведением.

Во втором случае в качестве входных данных используется описание правильного поведения системы и (или) логических взаимосвязей между сбоями и их симптомами.

Результатом решения задачи диагностирования является перечень возможных неисправностей.

Одна из ключевых проблем, затрудняющих использование MBD, связана со сложностью представления знаний о комплексных объектах, и, как следствие, значительных затратах на их диагностику. Такие составные организационные объекты обычно создают среду для решения прикладных задач. В качестве примеров организационных объектов можно привести поликлиники, банки, государственные учреждения, а технических – водопроводные, электрические, газовые сети, различные комплексные устройства.

Таким образом, рассматриваемая в статье проблема представления знаний о сложных структуриру-

емых объектах в MBD задачах является актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [2, 3] показано, что решение проблемы диагностики на основе моделей основывается на формировании адекватной парадигмы для построения представления знаний.

Указанная парадигма включает в себя абстракции структуры, отражающие статические аспекты составного объекта и абстракции поведения, выражающие изменения состояния и структуры объекта [4].

Структурная абстракция задает взаимосвязи между компонентами сложного объекта, позволяя описать последний в виде единой системы [5].

Поведенческая абстракция позволяет определить поведение сложного объекта на различных уровнях детализации, в качественном и количественном аспектах [6].

В основе диагностики на основе моделей лежит принцип абстрагирования от специфики предметной области. Это означает, что для построения модели составного объекта необходимо использовать типовые структурные или поведенческие схемы. Знания о таких схемах выражаются в виде шаблонов или паттернов. Модель объединяет эти шаблоны в единую систему.

Поэтому при дальнейшем изложении паттерны структуры и поведения будут формировать как модель объекта, так и модели ее элементов.

Как показано в работе [2], при построении как поведенческой, так и структурной абстракции сложных объектов целесообразно использовать иерархиче-

ские модели. Следовательно, модель составного объекта должна предусматривать детализацию/объединение паттернов на различных уровнях иерархии.

Целью данной статьи является разработка такого представления знаний сложного структурируемого объекта, которое можно было бы использовать в задачах диагностирования с использованием моделей.

Представление знаний сложного структурируемого объекта. Предлагаемый подход к представлению знаний в задаче диагностики составных структурируемых объектов основывается на использовании многоуровневой системы абстракций, а также реализации подхода к диагностированию путем проверки непротиворечивости модели сложной системы.

Комбинация двух указанных подходов позволяет представить знания о сложных составных объектах в виде следующего множества:

$$K_{SO} = \{M_{SO}, P_{OB}, P_G\}, \quad (1)$$

где M_{SO} – модель структурируемого объекта, включающая его компоненты, структуру, поведение; $P_{OB} = \{P_{OB}\}$ – наблюдаемое поведение структурируемого объекта, отображаемое в виде набора структурных шаблонов P_{OB} ; P_G – общие знания о предметной области, в которой функционирует объект.

Формально шаблоны можно представить последовательностями бинарных предикатов R_n , где каждый предикат описывает условие перехода от одного события к другому, т. е. предикаты вычисляются один за другим, в соответствии с порядком в последовательностях, описывая поведение структурируемого объекта:

$$P_{OB} = \begin{cases} R_1(x_1, x_2), \\ R_2(x_2, x_3), \\ \dots \\ R_n(x_n, x_{n+1}). \end{cases} \quad (2)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – структурные элементы составного объекта.

Модель структурируемого объекта представляется следующим образом:

$$M_{SO} = \{P_{CD}, P_{BD}, P_{OC}\}, \quad (3)$$

где $P_{CD} = \{P_{CD}\}$ – множество паттернов P_{CD} , описывающих структуру составного объекта.

Каждый такой паттерн формализуется множеством бинарных предикатов, связывающих элементы $\{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ структуры составного объекта, т. е. реляционной сетью:

$$P_{CD} = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}, \quad (4)$$

где $P_{BD} = \{P_{BD}\}$ – описание поведения составного объекта в виде множества взаимосвязанных паттернов P_{BD} .

Каждый такой паттерн P_{BD} представляет собой последовательность некоторых событий, означающих прохождение элементов составного объекта:

$$P_{BD} = (R_1, R_2, \dots, R_r), \\ \{R_1, R_2, \dots, R_r\} \subseteq \{R_1, R_2, \dots, R_m\}, \quad (5)$$

где $P_{OC} = \{P_{OC}\}$ – набор компонентов структурируемого объекта.

Каждый из компонентов представляется в виде структурного паттерна P_{OC} .

$$P_{OC} = \{x_1, x_2, \dots, x_q\}, \\ \{x_1, x_2, \dots, x_q\} \subseteq \{x_1, x_2, \dots, x_p\}. \quad (6)$$

При решении задачи диагностирования в общем случае необходимо найти ответ на вопрос: почему поведение корректно определенной системы не соответствует исходным требованиям. Для этого необходимо сформировать диагноз неисправностей.

Под диагнозом неисправностей D будем понимать набор зависимостей, отражающих связи между неисправными компонентами и некорректным поведением исследуемого объекта:

$$D = \{P_{OC}^b R P_{OB}^b\}, P_{OC}^b \subset P_{OC}, \quad (7)$$

где P_{OC}^b – подмножество неисправных компонент структурируемого объекта, $P_{OC}^b \subset P_{OC}$; P_{OB}^b – подмножество паттернов, отражающих наблюдаемое некорректное поведение исследуемого объекта, $P_{OB}^b \subset P_{OB}$; R – зависимости, которые отражают влияние неисправных составляющих на неверное поведение объекта.

Формально говоря, необходимо найти логический оператор:

$$F(\{\{x_1, x_2, \dots, x_q\}_i^b\}, \\ \{(R_1, R_2, \dots, R_m)_i^b\}) = 1. \quad (8)$$

Для более формального определения MBD – задачи применительно к структурируемым объектам используем описание знаний о предметной области, представленное выражениями (1) и (3).

Тогда задача диагностики составных структурируемых объектов на основе моделей в целом заключается в получении диагноза неисправностей D путем сравнения структурного, поведенческого описания M_{SO} структурируемого объекта с его наблюдаемым поведением P_{OB} с учетом общих знаний о предметной области P_G , которые влияют на указанное поведение:

$$F(\{\{x_1, x_2, \dots, x_q\}_i^b\}, \\ \{(R_1, R_2, \dots, R_m)_i^b\}, \{R_1^O, R_2^O, \dots, R_k^O\}) = 1. \quad (9)$$

В данной работе основное внимание уделяется непротиворечивости модели структурируемого объекта, поэтому MBD – задача формулируется в следующем виде.

Дано: модель структурируемого объекта M_{SO} , отражающая его структуру и поведение посредством набора паттернов, связывающие его составляющие

(структура), а также изменение состояния (поведение); описание поведения объекта P_{OB} , которое содержит как корректные (соответствующие модели M_{SO}), так и некорректные последовательности событий; указанные последовательности событий отражают изменение состояния объекта; общие знания о предметной области P_G , в которой размещается объект, представленные в виде набора шаблонных зависимостей $\{P_G\}$.

Необходимо получить: набор P_{OC}^b подмножеств элементов $\{P_{OC}^b\}$ с противоречивым поведением: т. е. сами элементы работают корректно, но их совместная работа приводит к некорректному поведению составного объекта в целом:

$$P_{OC}^b = \{P_{OC}^b \mid \forall P_{CD} \exists P_{OB}^b\},$$

где P_{OB}^b – паттерны поведения исследуемого объекта; P_{CD} – структурное описание объекта; $\{P_{OC}^b\}$ – элементы с противоречивым поведением.

Компоненты модели структурируемого объекта P_{OC} представляются в виде паттернов поведения P_{CS} и структурных паттернов P_{CB} :

$$P_{OC} = \{P_{CS}, P_{CB}\}. \quad (11)$$

Поэтому в отличие от существующих подходов к диагностике на основе поведения, проверка непротиворечивости поведения элементов основана на сопоставлении структурного и поведенческого описания сложного объекта.

Необходимое условие для диагностики объектов – наличие формального описания поведения P_{OC} и составляющих его компонент. Для моделирования необходимо формализовать поведение составляющих объекта для различных значений входных сигналов. Иными словами, для проведения диагностики на основе модели объекта не требуется учитывать тип объекта, его функциональные возможности.

Данный подход позволяет представить модель составного объекта в виде композиции составляющих его объектов:

$$\begin{aligned} & \{ \{P_{CD}\}_{i=1}^m, \forall P_{CD}^i \exists \{x_1^i, x_2^i, \dots, x_p^i\}, \\ & \{P_{BD}\}_{j=1}^n, \forall P_{BD}^j \exists \{y_1^j, y_2^j, \dots, y_q^j\}, \\ & \{P_{OC}^k\}_{k=1}^o, \forall P_{OC}^k \exists \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_r^k\} \}, \end{aligned} \quad (12)$$

где $\{x_1^i, x_2^i, \dots, x_p^i\}$ – входные сигналы паттернов P_{CD}^i , описывающих структуру составного объекта; $\{y_1^j, y_2^j, \dots, y_q^j\}$ – входные сигналы паттернов P_{BD}^j , описывающих поведение составного объекта; $\{z_1^k, z_2^k, \dots, z_r^k\}$ – входные сигналы неисправных компонент P_{OC}^k .

Таким образом, в соответствии с приведенной выше постановкой задачи, представление знаний о составном структурируемом объекте выполняется на основе следующих положений.

1. Составной объект $\langle P_{CD}, P_{BD} \rangle$ представляется в виде композиции включенных в него объектов, формализуемых посредством паттернов, отражающих их структуру и поведение. Паттерны могут быть реализованы в виде выражений логики первого порядка, процессной алгебры, предикатов. В данной работе паттерны структуры (4) и поведения (2) представляются предикатами АКП:

$$\begin{aligned} & \langle P_{CD}, P_{BD} \rangle = \\ & \langle (R_1, R_2, \dots, R_n)_{i=1}^k, \{R_1, R_2, \dots, R_m\}_{j=1}^l \rangle. \end{aligned} \quad (12)$$

2. Диагностика объекта выполняется независимо от специфики предметной области, на основе структуры и поведения объекта и его составляющих:

$$\begin{aligned} & G((R_1, R_2, \dots, R_n)_{i=1}^k, \\ & \{R_1, R_2, \dots, R_m\}_{j=1}^l) = 1. \end{aligned} \quad (13)$$

3. Полученные в результате диагностики отношения $R_i \in R$ согласно (7) могут отражать связи между неверными элементами и некорректным поведением как вида «один-к-одному»:

$$P(P_{CD}^i(R_i), P_{BD}^j(R_j)) = 1, \quad (14)$$

так и вида «множество-ко-множеству»:

$$P^*(P_{CD}^i(R_1, \dots, R_i), P_{BD}^j(R_1, \dots, R_j)) = 1, \quad (15)$$

где P, P^* – предикатные операции.

4. В отличие от существующих подходов, диагностика объекта, представленного структурными паттернами и паттернами поведения может выполняться в режимах off-line и on-line.

В первом режиме определяются необходимые условия для получения диагноза D . Такие условия определяют связи между структурными паттернами и недопустимым поведением объекта. Иными словами, в режиме off-line выявляются такие противоречивые структурные шаблоны в составе исследуемого объекта, которые могут привести к его некорректному наблюдаемому поведению.

Второй режим является традиционным для диагностики на основе моделей. В данном режиме выявляются достаточные условия некорректного поведения исследуемого комплексного объекта. Иными словами, в режиме on-line выявляются такие поведенческие шаблоны как объекта, так и его составляющих, которые приводят к его некорректному наблюдаемому поведению.

Выводы. Представлена постановка задачи диагностирования с использованием моделей сложного структурируемого объекта. Показано, что данная задача заключается в получении диагноза неисправностей путем сравнения структурного, поведенческого описания структурируемого объекта с его наблюдаемым поведением с учетом общих знаний о предметной области, которые влияют на указанное поведение.

Предложено представление знаний сложного составного объекта, при котором объект представляется

в виде композиции включенных в него объектов, формализуемых посредством паттернов, отражающих их структуру и поведение. Это позволяет выполнить диагностику объекта независимо от специфики предметной области, на основе структуры и поведения объекта в целом, а также его составляющих.

Список литературы

1. De Kleer J. Fundamentals of model-based diagnosis / J. De Kleer, J. Kurien // Palo Alto Research Center, 2003. – <https://www.researchgate.net/publication/228781842>.
2. De Kleer J. Characterizing diagnoses and systems/ J. De Kleer, A. K. Mackworth, R. Reiter// Artificial Intelligence, 1992. – № 56. – P. 197–222.
3. Console L. A spectrum of logical definitions of model-based diagnosis/ L. Console, P. Torasso // Computational Intelligence, 1991. – №7(3). – P. 133-141.
4. Mozetič I. Model-based diagnosis: An overview. Part 7: Qualitative Reasoning /Mozetič I. // Lecture Notes in Computer Science. Vol. 617. – 2005. – P. 419-430.
5. Provan G. A General Characterization of Model-Based Diagnosis/ G. Provan// Ebook, Series Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. – 2016. – Vol. 285. – P. 1565 - 1566.
6. Beschta A. A model-based approach to fault localization in power transmission networks/ A. Beschta, O. Dressler, H. Freitag,

M. Montag, P. Struss// Intelligent Systems Engineering, 1993. – № 2 – P. 3–14.

References (transliterated)

1. De Kleer J. Fundamentals of model-based diagnosis/ J. De Kleer, J. Kurien // Palo Alto Research Center, 2003. – <https://www.researchgate.net/publication/228781842>.
2. De Kleer J. Characterizing diagnoses and systems/ J. De Kleer, A. K. Mackworth, R. Reiter// Artificial Intelligence, 1992. no. 56, pp. 197–222.
3. Console L. A spectrum of logical definitions of model-based diagnosis/ L. Console, P. Torasso // Computational Intelligence, 1991. no. 7(3), pp. 133-141.
4. Mozetič I. Model-based diagnosis: An overview. Part 7: Qualitative Reasoning /Mozetič I. // Lecture Notes in Computer Science, no. 617. 2005, pp. 419-430.
5. Provan G. A General Characterization of Model-Based Diagnosis/ G. Provan//, Ebook, Series Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, 2016. no. 285, pp. 1565 - 1566.
6. Beschta A. A model-based approach to fault localization in power transmission networks/ A. Beschta, O. Dressler, H. Freitag, M. Montag, P. Struss// Intelligent Systems Engineering, 1993. no. 2, pp. 3–14.

Поступила (received) 21.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Подання знань складного структурованого об'єкта в задачах діагностування з використанням моделей / С. Ю. Шабанов, Ю. С. Новіков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 45 (1217). – С. 74–77. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

Представление знаний сложного структурируемого объекта в задачах диагностирования с использованием моделей / С. Ю. Шабанов, Ю. С. Новиков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 45 (1217). – С. 74–77. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

Presentation of a structured knowledge of a complex object in diagnosing problems with the use of models / S. Y. Shabanov, Y. S. Novikov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 45 (1217). – P. 74–77. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шабанов-Кушнарченко Сергій Юрійович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник кафедри програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, тел.: (057) 702-14-46; e-mail: sergei.shabanov-kushnarenko@nure.ua.

Новіков Юрій Сергійович – старший викладач кафедри програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, тел.: (057) 702-14-46; e-mail: yuriy.novikov@nure.ua.

Шабанов-Кушнарченко Сергей Юрьевич – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков, тел.: (057) 702-14-46; e-mail: sergei.shabanov-kushnarenko@nure.ua.

Новиков Юрий Сергеевич – старший преподаватель кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков, тел.: (057) 702-14-46; e-mail: yuriy.novikov@nure.ua.

Shabanov-Kushnarenko Sergey – Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading researcher of the Department of Software Engineering of the Kharkiv National University of Radioelectronics, c. Kharkiv, (057) 702-14-46; e-mail: sergei.shabanov-kushnarenko@nure.ua.

Novikov Yuriy – Senior lecturer at the program engineering department of the Kharkiv National University of Radioelectronics, c. Kharkiv, (057) 702-14-46; e-mail: yuriy.novikov@nure.ua.