

УДК 004.023

В.А. Крисілов, д-р техн. наук, проф.,
В.В. Любченко, канд. техн. наук, доц.,
В.С. Кавицькая, магістр,
Одес. нац. политехн. ун-т

МЕТОДЫ ЦЕЛЕОРИЕНТИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ

В.А. Крисілов, В.В. Любченко, В.С. Кавицька. Методи цілеорієнтованої оцінки адекватності моделі. Розглянуто проблему адекватності моделі і представлення цілі при її формальному описанні. Проведено аналіз способів формального описання цілі. Розроблено методи цілеорієнтованої оцінки адекватності.

Ключові слова: адекватність моделі, формальний опис, опис цілі, методи оцінки, цілеорієнтована оцінка.

В.А. Крисілов, В.В. Любченко, В.С. Кавицькая. Методы целеориентированной оценки адекватности модели. Рассмотрена проблема адекватности модели и представление цели при ее формальном описании. Проведен анализ способов формального описания цели. Разработаны методы целеориентированной оценки адекватности.

Ключевые слова: адекватность модели, формальное описание, описание цели, методы оценки, целеориентированная оценка.

V.A. Krissilov, V.V. Lyubchenko, V.S. Kavitskaya. The methods for goal-oriented estimation of model adequacy. The problem of the model adequacy and goal presentation while making its formal description is considered. The methods of the goal formal description are analyzed. The methods for goal-oriented estimation of model adequacy are developed.

Keywords: the model adequacy, the formal description, the goal description, the methods of description, the goal-oriented description.

Любая система, процесс, модель должны обеспечивать определенный результат или цель, исходя из которых можно объяснить их функционирование [1]. Первый и самый важный шаг при создании любой модели состоит в определении ее целевого назначения. Все разнообразие моделей определяется разнообразием целей, поставленных при их создании. От выбранной цели зависит, какие характеристики и свойства исследуемого объекта считать существенными, а какие несущественными. В соответствии с поставленной целью может быть подобран инструментарий, определены методы решения задачи, формы отображения результатов.

Анализ ситуации в области достижения поставленной цели при оценке адекватности модели позволяет сделать на базе литературных источников [2, 3] заключение о недостаточной изученности вопросов оценки адекватности модели в целом. В связи с этим, целью статьи является разработка методов оценивания адекватности построенной модели с учетом поставленной задачи, что позволяет не только оптимизировать затраты на разработку модели, но и количественно оценить меру и качество достижения цели.

Выделяют основные свойства модели, которые позволяют в той или иной степени либо различать, либо отождествлять модель с оригиналом: адекватность, сложность, конечность, наглядность, истинность, приближенность [4]. Важнейшим свойством модели является требование адекватности — соответствие модели ее реальному объекту (процессу, системе и т.д.) относительно выбранного множества его характеристик и свойств согласно определенной цели.

Под адекватностью модели понимают правильное качественное и количественное описание объекта (процесса) по выбранному множеству характеристик с заданной степенью точности. При этом имеется в виду адекватность по тем свойствам модели, которые являются для исследователя существенными, определяемыми согласно цели исследования.

Проблема оценки степени адекватности в общем случае возникает из-за неоднозначности и нечеткости самих критериев адекватности, а также из-за трудности выбора тех признаков, свойств и характеристик, по которым оценивается адекватность [5].

Таким образом, свойство адекватности является важнейшим требованием к модели, но разработка высокоточных и надежных методов проверки адекватности остается по-прежнему трудноразрешимой задачей. Предлагается подход целеориентированного оценивания адекватности модели.

Цель системы может быть описана следующими способами [6].

1. Если система описана в виде “черного ящика” с заданием передаточного функционала вида $Y=F(X)$, то цель представляется в виде желаемых значений (или диапазонов значений) одной или нескольких целевых функций.

2. Если система описана в виде графа состояний, то цель представляется в виде желаемого состояния или множества упорядоченных или неупорядоченных состояний при известном исходном состоянии.

3. Если система описана в произвольном виде, то цель представляется в виде множества требований, предъявляемых к системе.

Если система описана в виде “черного ящика” с заданием передаточного функционала вида $Y=F(X)$, то решение задачи достижения цели осуществляется методами оптимизации.

Моделирование системы, которая рассматривается как «черный ящик», основано на наблюдении параметров входов $X(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ и выходов $Y(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$, с последующим построением зависимостей $Y=F(X)$. Модель “черного ящика” используется в тех случаях, когда нет возможности вмешательства во внутреннюю структуру системы и когда действительно внутреннее устройство системы отсутствует или не представляет интереса, когда нужно получить данные о системе в обычной для нее обстановке, для уменьшения воздействия измерений на саму систему.

Предлагается определять целеориентированную оценку адекватности модели «черный ящик» путем вычисления среднеквадратического отклонения наблюдаемых значений от ожидаемых значений целевой функции (1).

$$q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F}_i')^2}, \quad (1)$$

где F_i — целевая функция текущего состояния системы,

\bar{F}_i' — среднее арифметическое значения целевой функции,

n — количество значений целевой функции текущего состояния системы.

Модель типа “черный ящик” адекватна, если в рамках выбранной степени точности она функционирует так же, как и реальная система, т.е. определяет тот же функционал преобразования входных сигналов в выходные. Тогда мера адекватности будет принимать значение 0 в случае полной адекватности и значение из промежутка $(0, N)$ в случае некоторой меры адекватности. Отметим, что пороговое значение из промежутка $(0, N)$ определяется экспертом.

Если система описана в виде графа состояний, то решение задачи достижения цели осуществляется методами теории автоматов. Граф G состоит из множества вершин $V(G)$ и дуг $E(G)$, соединяющих пары вершин. В модели пространства состояний вершины графа представляют дискретные состояния процесса решения. Дуги графа описывают переходы между состояниями [7].

Цель, описанная в виде графа состояний, представляется в виде желаемого состояния или множества упорядоченных или неупорядоченных состояний.

Если интерес представляет множество состояний, то для целеориентированной оценки адекватности модели предлагается применить расстояние Левенштейна, которое оценивается минимальным количеством операций вставки, удаления или замены одного символа на другой, необходимых для превращения одной строки в другую [8].

В данном контексте результирующую последовательность состояний будем рассматривать как строку, и тогда задача сводится к нахождению расстояния между двумя строками. Выполним сравнение строк, используя расстояние Левенштейна d . Будем считать вес каждой операции преобразования символа в строке, предусмотренных мерой Левенштейна (т.е. удаления символа, вставки символа и замены символа иным символом), равным 1. Тогда для строк u и v равной длины D расстояние $d(u,v)$, очевидно, не превосходит D . Поэтому подобие строк можно положить равным $D - d(u,v)$.

Таким образом, целеориентированная оценка адекватности будет определяться как

$$q = \frac{D - d(u,v)}{D}, \quad (2)$$

где $d(u,v)$ — расстояние Левенштейна между строками u и v ,
 D — длина строк u и v .

Тогда мера адекватности будет принимать значение 1 в случае полной адекватности, и значение 0 в случае полного отсутствия адекватности. Отметим, что пороговое значение меры адекватности из промежутка $(0,1)$ определяется экспертом.

Если цель описана в виде системы требований, то степень адекватности определяется как результат сравнения различных моделей. Поэтому будем оперировать адекватностью модели A по отношению к модели B , причем A — оцениваемая, а B — эталонная модели. “Эталонная” модель в данном контексте означает “образец для сравнения”, который в общем случае может иметь иную “природу” [9]. В рассматриваемых условиях, эталонной моделью являются требования.

Оцениваемая модель A состоит из множества моделей оцениваемых объектов $A(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$, а эталонная модель B — из множества моделей эталонных объектов $B(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)$. Множество B может формироваться двумя путями. Во-первых, формулировка тех или иных требований, предъявляемых к моделям эталонных объектов, может являться следствием известных объективных закономерностей. Во-вторых, формулировка требований может отражать субъективное (но оттого не менее существенное) мнение эксперта.

Таким образом, предлагается получить целеориентированную оценку адекватности в случае описания системы в виде множества требований следующим способом.

В соответствии с целями исследования определяется множество требований к модели объекта с описанием критериев, т.е. определением соответствующих характеристик и отношений, при необходимости указанием способов их измерения и/или выявления отношения, контроля его наличия. Эту систему требований будем рассматривать как эталонную модель исследуемого объекта B .

Целеориентированную оценку адекватности модели B относительно модели A будем рассматривать как функцию q , определенную на множестве моделей конкретных объектов,

$$q = \frac{|A \cap B|}{|B|}, \quad (3)$$

где $|A \cap B|$ — мощность пересечения множества целей оцениваемой модели A и множества целей эталонной модели B ,

$|B|$ — мощность множества целей эталонной модели B .

Тогда степень адекватности будет принимать значение 1 в случае полной адекватности и значение 0 в случае отсутствия адекватности. Отметим, что возможен учет частичного удовлетворения требования, и пороговое значение меры адекватности из промежутка $(0,1)$ определяется экспертом.

Отметим, что на практике применяется какой либо не один способ описания цели разрабатываемой системы. На самом первом этапе всегда предъявляются требования к разрабатываемой системе. Далее требования разбиваются на составляющие, такие как структура системы и процессы системы. В рамках описания структуры разрабатываемой системы цель описывается в виде

черного ящика, в случае же процессов — цель представляется в виде графа состояний. В обоих случаях присутствует декомпозиция целей до определенного интересующего нас уровня детализации. Предложенные методы позволяют оценить количественно адекватность модели с учетом цели разрабатываемой системы на том уровне, на котором находится разработка системы.

Литература

1. Крисилов, В.А. Информационная технология принятия решений в задачах АСУ на базе количественной интегральной оценки сложных объектов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / В.А. Крисилов. — Одесса: ОНПУ, 2004. — 242 с.
2. Катренко, А.В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації: Навч. посіб. / А.В. Катренко. — Львів: Новий Світ-2000, 2003. — 424 с.
3. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. — СПб: Профессия, 2003. — 751 с.
4. Востров, Г.Н. Проблемы построения информационных систем над предметными областями / Востров Г.Н., Межуев В.И. // Искусств. интеллект. — 2008. — № 4. — С. 736 — 746.
5. Тудер, И.Ю. Коллективное моделирование предметной области большой размерности: дис. ... канд. техн. наук. — М.: НИЦЭВТ, 2002. — 135 с.
6. Крисилов, В.А. Методы формирования целей проведения рейтингов / В.А. Крисилов // Ранжирование высш. учеб. заведений: состояние тенденции и проблемы / под. ред. В.Н. Бержанского. — Симферополь: ДИАЙПИ, 2007. — С. 55 — 71.
7. Орлов, А.И. Графы при моделировании процессов управления промышленными предприятиями / Орлов А.И. // Сетевые модели в управлении — № 30.1. Спец. выпуск — С. 62 — 75.
8. Бойцов, Л.М. Классификация и экспериментальное исследование современных алгоритмов нечеткого словарного поиска [Электронный ресурс] / Л.М. Бойцов // Тр. 6-й Всерос. науч. конф. "Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции" — RCDL2004, Пущино, Россия, 2004 г. — <http://rcdl.ru/doc/2004/paper27.pdf> — 18.10.2012.
9. Мельников, Ю.Б. Об определении и оценке адекватности модели / Ю.Б. Мельников, Г.В. Ваганова, Е.П. Матвеева // Образование и наука. — 2007. — № 6 (10). — С. 3 — 14.

References

1. Krisilov, V.A. Informatsionnaya tekhnologiya prinyatiya resheniy v zadachakh ASU na baze kolichestvennoy integral'noy otsenki sloynnykh ob'ektov: dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.13.06 [Information technology for decision-making in ACS problems on the basis of a quantitative integral estimate of complex objects: Dis. ... Dr. tech. Sciences] / V.A. Krisilov. — Odessa, 2004. — 242 pp.
2. Katrenko, A.V. Systemnyi analiz ob'ektiv ta protsesiv kompiuteryzatsii: Navch. posib. [System analysis of computerization objects and processes: Study guide] / A.V. Katrenko. — Lviv, 2003. — 424 pp.
3. Besekerskiy, V.A. Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya [Theory of automatic control systems] / V.A. Besekerskiy, E.P. Popov. — St.-Petersburg, 2003. — 751 pp.
4. Vostrov, G.N. Problemy postroeniya informatsionnykh sistem nad predmetnymi oblastyami [Problems in constructing information systems over subject domains] / Vostrov G.N., Mezhuiev V.I. // Iskusstv. intellekt [Artificial Intelligence]. — 2008. — # 4. — pp. 736 — 746.
5. Tuder, I.Yu. Kollektivnoe modelirovanie predmetnoy oblasti bol'shoi razmernosti: dis. ... kand. tekhn. Nauk [Collective Modeling of High-Dimension Subject Domain: Dis. ... Cand. Tech. Sciences]. — Moscow, 2002. — 135 pp.
6. Krisilov, V.A. Metody formirovaniya tseley provedeniya reytingov [Goal formation methods in ranking] / V.A. Krisilov // Ranzhirovanie vyssh. ucheb. zavedeniy: sostoyanie tendentsiy i problem [Ranking of Higher Education Institutions: the State, Trends and Challenges] / edited by V.N. Berzhanskiy. — Simferopol', 2007. — pp. 55 — 71.
7. Orlov, A.I. Grafy pri modelirovanii protsessov upravleniya promyshlennymi predpriyatiyami [Graphs in modeling the processes of industrial enterprise management] / Orlov A.I. // Setevye modeli v upravlenii [Network Models in Management] — # 30.1. Spec. issue — pp. 62 — 75

8. Boytsov, L.M. Klassifikatsiya i eksperimental'noe issledovanie sovremennykh algoritmov nechetkogo slovarnogo poiska [Classification and experimental study of modern algorithms for fuzzy lexical search] [Elektronnyy resurs] / L.M. Boytsov // Tr. 6-y Vseros. nauch. konf. "Elektronnyye biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, elektronnye kolleksii" [Proc. of the 6th All-Russian sci. conf. "Electronic Libraries: Perspective Methods and Technologies, Electronic Collections"] — RCDL2004, Puschino, Rossiya, 2004. — <http://rcdl.ru/doc/2004/paper27.pdf> — 18.10.2012.
9. Mel'nikov, Yu.B. Ob opredelenii i otsenke adekvatnosti modeli [On determination and assessment of model adequacy] / Yu.B. Mel'nikov, G.V. Vaganova, E.P. Matveeva // Obrazovanie i nauka [Education and Science], 2007. — # 6 (10). — pp. 3 — 14.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Дрозд А.В.

Поступила в редакцию 4 ноября 2012 г.