

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Митряева О.Е., Печейкина М.А., Раков Д.Л.

Ключевые слова: киберфизические системы, математическое моделирование, морфологический подход, структурный синтез, комплексные системы.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы математического моделирования комплексных киберфизических систем поиска методов и средств для повышения эффективности синтеза новых киберфизических систем. На первое место выходит задачи изучения структур исследуемых объектов. Структура объекта играет первостепенную роль, как при анализе, так и при синтезе систем самого разного типа. Цель состоит в том, чтобы синтезировать новые инновационные системы при помощи морфологического подхода. При помощи комбинаторики возможно эффективно и быстро сгенерировать морфологическое множество. Затем происходит отбор с последующим анализом и выбором рациональных вариантов.

POSSIBILITIES OF CREATING CYBER-PHYSICAL SYSTEMS BASED ON THE MORPHOLOGICAL APPROACH

Mitryeva O.E., Pecheykina M.A., Rakov D.L.

Keywords: cyber-physical systems, mathematical modeling, morphological approach, structural synthesis, complex systems.

Abstract. The article discussed with the issues of mathematical modeling of complex cyber-physical systems. In the first place is the task of studying the structures of the objects under study. The structure of the object plays a paramount role, both in the analysis and in the synthesis of systems of various types. The goal is to synthesize new innovative systems using a morphological approach. Using combinatorics, it is possible to generate a morphological set efficiently and quickly. Then there is a selection followed by analysis and selection of rational options.

Эффективность функционирования комплексной киберфизической технической системы (КТС), в первую очередь, зависит от структуры и связей между элементами. Структура системы играет первостепенную роль, как при анализе, так и при синтезе систем самого разного типа. В понятие задач морфологического синтеза вкладывается, с одной стороны, выяснение реальных целей самой КТС, альтернативных путей их достижения и взаимосвязей между элементами системы в процессе реализации каждого альтернативного варианта, с другой стороны – углубленное понимание внешних условий, в которых возникла проблема, а отсюда – последствий и границ осуществления того или иного технического решения. Специфика задач структурного синтеза составляет дискретность переменных и наличие условно-логических ограничений [1,2]. К этому необходимо добавить необходимость работы с несколькими противоречивыми критериями. Суть проектного поиска состоит в целенаправленном изменении значений признаков для достижения таких вариантов, которые обладают лучшими показателями, чем исходные данные [3].

Пусть создаваемая КТС с требуемой степенью подробности сопоставляется с вектором $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ размерностью n . При этом $X \in X_M$, где X_M – морфологическое множество вариантов КТС. Конструкция объекта проектирования сопоставляется с некоторым значением вектора элементов $x^* \in X_M$. Это означает, что задание конкретного значения вектора элементов X^* . X_M вполне определяет объект проектирования, т.е. можно создать объект проектирования с вектором элементов X^* . Вектор X может давать далеко не самое подробное описание объекта проектирования. Выбор описания определяется двумя требованиями [3]:

1. Описание должно быть достаточно подробным, чтобы задание $X^* \in X_M$ не вызывало сомнений при реализации объекта проектирования с элементами X^* .

2. Описание должно быть достаточно обозримым для того, чтобы можно было говорить об алгоритмизации процесса создания КТС.

Таким образом, при выборе вектора элементов объекта проектирования необходимо найти компромисс между стремлением к точности моделирования и простотой модели. Внешние условия, влияющие на функционирование КТС известны и фиксированы. В соответствии с этим критерий функционирования КТС является функцией $F(x)$ только элементов $x^* \in X_M$. И соответственно, задача проектирования состоит в нахождении максимума функции. Специфика предложенного подхода заключается в последовательности операций генерации, сравнения и отбора множества эффективных вариантов (кластеров) ТР при помощи специально организованных процедур.

На стадии анализа вырабатывается подробное представление об исследуемой КТС. Осуществляются морфологический анализ, тенденции и прогноз развития исследуемых систем [4,5]. Подробно рассматривается функционально-структурный анализ существующей КТС, при котором выясняются состав и принципы функционирования элементов и подсистем, формулирование требований к системе, анализ аналогов (созданные, существующие, проектируемые КТС и патентные описания). Рассматриваются критерии эффективности, накладываемые ограничения и т.п. Общепринятых правил по описанию технических систем не существует, они являются следствием общей модели исследования. Главная трудность при выборе показателей связана с большим числом признаков КТС. Чтобы исключить необоснованно громоздкие модели, следует отбирать лишь наиболее представительные признаки. Несмотря на очевидную неопределенность рекомендаций по их выбору, неформальное математическое описание объектов является не только приемлемым, но и весьма рациональным. Речь идет о некотором недостатке информации, который может повлечь за собой неточные выводы. В исследуемом объекте выделяют множество основных признаков. В процессе эволюции технические системы появляются, функционируют, устаревают и вытесняются прогрессивными КТС, наиболее соответствующим изменившимся внешним

условиям. Логически сконструированные модели комплексных КТС возможного будущего с неопределенным уровнем достоверности получили название антиципативных. Процесс развития КТС и изменение внешних условий моделируется путем задания новых весовых коэффициентов у критериев (рис. 1).

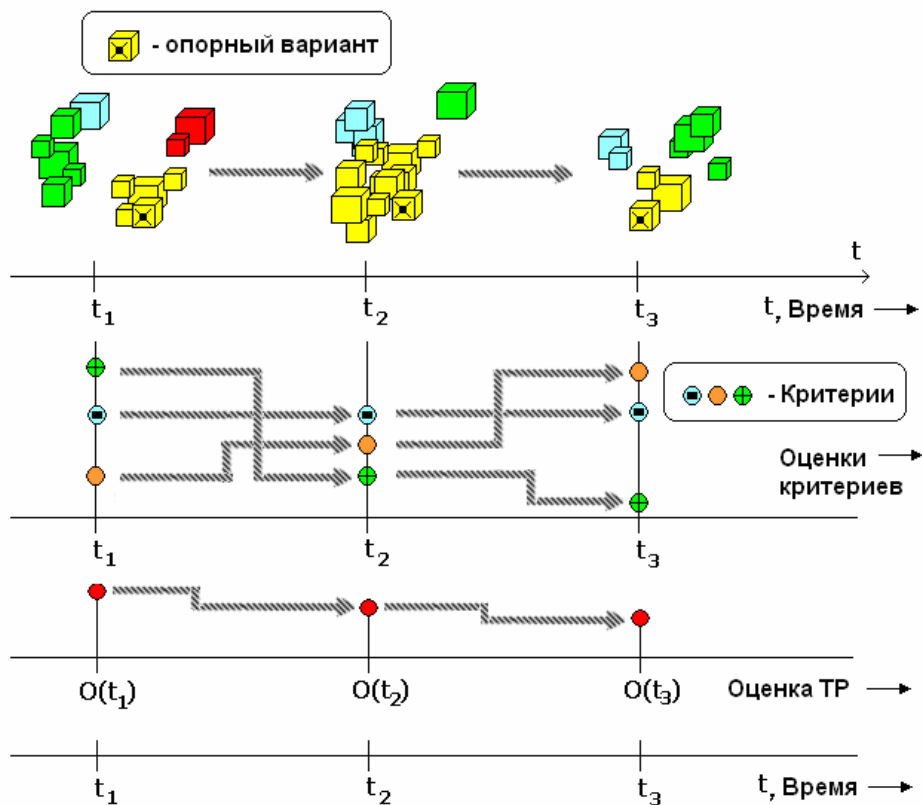


Рис. 1. Развитие КТС во времени

В заключение статьи можно сделать выводы о том, что при исследовании и синтезе киберфизических систем можно использовать морфологический подход. Его использование ведет к расширению множества вариантов систем. Следовательно, расширяется область поиска и повышается вероятность нахождения оптимальных вариантов.

Также изложенный подход можно использовать для построения антиципативных комплексных систем и прогнозирования развития, как отдельных систем, так и некоторой предметной области в целом.

Список литературы / References

1. Zwicky F. Discovery, Invention Research - Through the Morphological Approach. Toronto: The Macmillan Company, 1969.
2. Zwicky F., Wilson A., & (eds). New Methods of Thought and Procedure: Contributions. Berlin: Springer, 1967.

3. Раков Д.Л. Структурный анализ и синтез новых технических систем на базе морфологического подхода. Москва: ЛИБРОКОМ, 2011. 159 с.
4. Rakov D.L., Sukhorukov R.Y., Pecheykina M.A. Structural synthesis and the search for new engineering solutions in the conceptual design phase // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2019. T. 48. No.2. P. 173-178.
 4. Rakov D.L. Structural analysis and synthesis of new technical systems based on the morphological approach. Moscow: LIBROCOM, 2019. 159 p.
5. Bardenhagen A., Rakov D. Advanced morphological approach in aerospace design during conceptual stage // Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering. 2019. No.17(3). P. 321-332.

| | |
|--|---|
| Митряева Ольга Евгеньевна – старший преподаватель, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия, marina.pecheykina@mail.ru | Mitryeva Olga Evgen'evna – senior lecturer, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia, marina.pecheykina@mail.ru |
| Печейкина Марина Анатольевна – старший преподаватель, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия, marina.pecheykina@mail.ru | Pecheykina Marina Anatolievna – senior lecturer, National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, Russia, marina.pecheykina@mail.ru |
| Раков Дмитрий Леонидович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия, rdl@mail.ru | Rakov Dmitry Leonidovich – candidate of technical science, senior staff scientist, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, rdl@mail.ru |

Received 16.09.2021