

УДК 519.816:681.3

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ТЕХНОЛОГИИ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

*Н.С. Бакуменко, О.С. Радивоненко,
А.Ю. Соколов, д-р техн. наук*

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского, «ХАИ»

Рассмотрена проблема интеллектуальной поддержки начальных стадий проектирования сложных технических объектов. Предложен метод ее решения, базирующийся на построении аппроксимационной нечеткой модели, на основе правил Такаги-Сугено методами Data Mining и последующей оптимизации с использованием генетического алгоритма.

* * *

Розглянуто проблему інтелектуальної підтримки початкових стадій проектування складних технічних об'єктів. Запропоновано метод її вирішення, що базується на побудові апроксимаційної нечіткої моделі за допомогою правил Такагі-Сугено методами Data Mining, а також подальшої оптимізації з використанням генетичного алгоритму.

* * *

The problem of intellectual support of initial design stages of complex technical objects is considered. The method, based on construction of approximated fuzzy model (Sugeno fuzzy system) using Data Mining methods and following optimization procedure with genetic algorithm is provided.

Введение

Проблема качественного проектирования сложных технических объектов является весьма актуальной и значимой для многих современных предприятий, стремящихся повысить свою эффективность. Один из путей решения этой проблемы связан с созданием прикладных программных систем, реализующих разнообразные математические и эмпирические методы расчета, оптимизации и анализа данных. При проектировании, анализе, прогнозировании поведения сложной системы лицо, принимающее решение, сталкивается с проблемой выбора параметров объекта, которые часто определяются огромным количеством соотношений, требующих для расчетов длительных и трудоемких вычислений. Для получения оптимального решения необходимо понизить сложность задачи, получив модель изучаемого объекта, сформулированную в терминах соответствующего теоретического пространства, учитывающую основные аспекты проблемы. Известны подходы, которые дают возможность получить рациональное решение для сложной системы, проводя вычисления упрощенных моделях. Особое

место занимают знаниеориентированные модели, позволяющие обобщать опыт экспертов в описании сложных технических систем, учитывая поисковый характер проектирования, насыщенного эмпирическими ассоциациями, эвристическими приемами и закономерностями [1].

1. Постановка проблемы

В настоящее время создание интеллектуальных информационных средств поддержки проектирования определяется двумя основными направлениями. Первое из них характеризуется использованием классической логики и увеличением скорости вычислений за счет множественного параллелизма. Второе направление базируется на методах искусственного интеллекта: нечеткой логике [2], нейронных сетях, эволюционных методах поиска, методов Data Mining. Для исследований в области сложных систем, в частности аэрокосмических систем, использование такого подхода имеет большую практическую ценность, поскольку учитывает степень неопределенности различных типов данных и снижает стоимость вычислительного процесса [3].

Таким образом, основной научной задачей данного исследования является разработка методических и информационных средств интеллектуальной поддержки начальных стадий проектирования сложных технических объектов, использующих преимущества современных информационных технологий – нечеткой логики, методов Data mining и генетических алгоритмов.

Среди методов поиска оптимальных решений, базирующихся на методах и моделях искусственного интеллекта, известны подходы, базирующиеся на построении модели объекта с помощью нейронной сети [4]. Применение нейронной сети в качестве модели объекта может обеспечить высокую точность, однако имеет недостаток, состоящий в том, что поведение объекта представляет собой «черный ящик». Нечеткие модели сочетают в себе преимущества лингвистического описания и универсальные аппроксимирующие свойства [5,6]. Поэтому в данной работе для выбора оптимальных параметров объекта предлагается подход, основанный на построении упрощенной нечеткой модели Такаги-Сугено [7].

2. Описание предлагаемого подхода

В основе предлагаемого подхода лежит замена математической модели сложного технического объекта упрощенной аппроксимационной нечеткой моделью и дальнейшего ее использования для поиска оптимальных проектных параметров. Таким образом, возникает задача построения знаниеориентированной системы, включающей в себя блок генерации упрощенной аппроксимационной модели, блок оптимизации и базу данных, содержащую числовые характеристики объекта при различных комбинациях входных величин, а также данные проводимых ранее расчетов. Общая структура предлагаемой системы приведена на рис. 1.

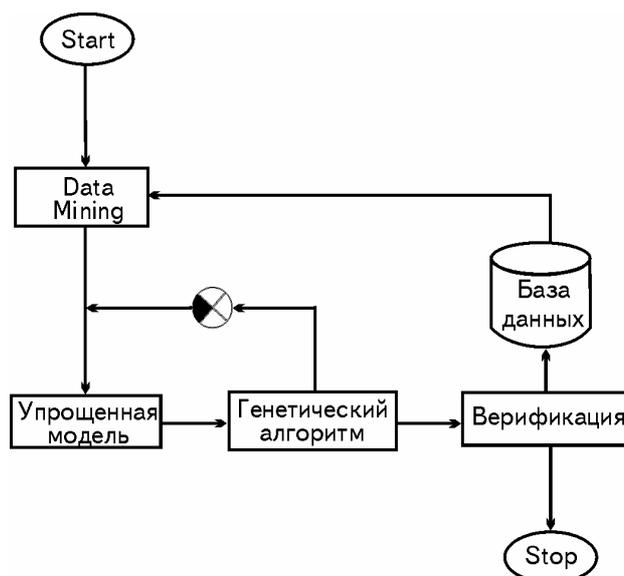


Рис.1. Функциональная схема предлагаемой методики

Для выбора оптимальных параметров объекта предлагается провести быстрый оптимизационный цикл с помощью генетического алгоритма для построенной упрощенной нечеткой модели сложного технического объекта. Быстрый цикл завершается, когда достигнуто целевое значение параметра или же дальнейшее улучшение невозможно. После окончания быстрого оптимизационного цикла проводится верификация результатов на исходной сложной модели при значениях параметров, при которых достигнут оптимум. В случае, если разница между точным значением и полученным с помощью упрощенного расчета незначительна, цикл прекращается, иначе результаты расчетов заносятся в базу данных и модель настраивается с помощью генетического алгоритма. Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность.

3. Извлечение знаний из базы данных

Возникающая при проектировании сложного технического объекта задача определения значений характеристик объекта относится к классу расчетно-логических задач. В данном случае предварительное

проектирование включает в себя так называемый параметрический синтез структуры объекта, цель которого – определение числовых значений параметров проектируемого объекта. Поскольку для реального объекта количество параметров, а также описывающих его формул весьма велико, возникает необходимость в средствах хранения данных и знаний и манипулирования ими. Так как задача формирования облика изделия включает в себя этапы формирования исходного варианта требований к проектируемому изделию и синтеза облика изделия по сформированным требованиям [1], очевидна необходимость формирования исходного варианта облика проектируемого объекта по данным, характеризующим условия его функционирования.

Другими словами, на этапе концептуального проектирования необходим аппарат формирования прикладного облика проектируемого объекта для заданных характеристик, заменяющий сложный и трудоемкий расчет. Предлагается использование аппроксимационной модели, полученной в результате анализа базы данных, содержащей данные о существующих объектах данного класса (например, параметры авиационных двигателей).

Таким образом, необходимо решение задачи Data Mining, описываемой как поиск значимых и часто встречающихся шаблонов в массивах данных.

В результате получаем класс P шаблонов или предложений (высказываний), которые описывают свойства данных, и можем установить, как часто встречается шаблон $p \in P$ [8]. Таким образом, обобщенная задача Data Mining состоит в нахождении множества

$$PI(d, P) = \{p \in P \mid p \text{ встречается достаточно часто в } d, \text{ и } p - \text{ значимо}\}.$$

4. Аппроксимационная модель

Построение аппроксимационной модели осуществляется на основе нечеткой модели Такаги-Сугено [7], которая предполагает формирование базы знаний об объекте в виде набора правил

$$\text{IF } x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } A_2 \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_n \text{ THEN} \\ z = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где A_i – нечеткие множества посылок, а z – четкое значение. Обычно $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ является полиномиальной функцией входов x_i , однако $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ может быть произвольной функцией, которая соответствующим образом описывает выходную величину в зависимости от нечетких множеств антецедента. Для построения нечеткой модели в данном случае использовалась нечеткая модель Такаги-Сугено первого порядка, т.е.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n + b.$$

Для каждой входной переменной x_i были выбраны соответствующие нечеткие множества s_i^j универсума S_i соответственно. Перенумеруем также s_i^j .

Для корректной настройки модели необходимо так подобрать параметры консеквентов правил, т.е. a_1, a_2, \dots, a_n, b , чтобы полученное после дефазификации нечеткой системы значения при входах, близких к значениям на сетке значений, были близки к выходам, полученным из базы данных. Настройка консеквентов правил осуществлялась с помощью генетического алгоритма, для которого хромосома особи состояла из значений a_1, a_2, \dots, a_n, b для антецедента каждого правила подряд. Параметры генетического алгоритма: двоичное кодирование, 5 битов для каждого значения переменной, вероятность кроссовера – 0.9, вероятность мутации – 0.01, отбор родительских особей с помощью элитизма и аутбридинга [9].

5. Применение в автоматизированных системах

Предлагаемый подход использовался при создании прототипа автоматизированной системы концептуального проектирования газотурбинных двигателей летательных аппаратов.

Была рассмотрена задача выбора оптимальных параметров наиболее сложного типа газотурбинного двигателя – двухконтурного двухвального турбореактивного двигателя (ТРДД), систему уравнений проектного расчета которого в общем случае определяют четырьмя параметрами: температурой газа (T_g), суммарной степенью повышения давления (π_k), степенью двухконтурности (m), суммарной степенью повышения давления в наружном контуре (π_a) [10]. В качестве критерия оптимальности была выбрана сумма массы топлива (M_f) и силовой установки (M_{cy}), для получения которых использовалась методика расчета параметрических характеристик двухвального ТРДД без смешения потоков с постоянной теплоемкостью [11]. Расчетный режим – крейсерский.

Очевидно, что задача оптимизации применительно к поиску оптимальных значений параметров ГТД ЛА носит многопараметрический характер. Область допустимых параметров рабочего процесса ТРДД представляет собой при этом замкнутое n -мерное пространство переменных, имеющее в зависимости от числа и вида пересекающихся подмножеств весьма сложную форму. Поиск гарантируемых границ таких областей в n -мерном случае и в условиях неопределенности является сложной оптимизационной задачей [12].

Предлагаемая методика была использована при создании прототипа автоматизированной системы концептуального проектирования газотурбинных двигателей летательных аппаратов (рис. 2).

Заключение

Предлагаемая в статье методика представляет собой удобный аппарат для выбора оптимальных параметров сложного технического объекта, использующий преимущества лингвистического описания, а также позволяет существенно сократить время расчетов для сложной модели.

Литература

1. Интеллектуальные системы принятия проектных решений / А.В. Алексеев, А.Н. Борисов, Э.Р. Вилюмс, Н.Н. Слядзь, С.А. Фомин. – Рига: Зинатне, 1997. – 320 с.
2. Zadeh L.A. Outline of new approach to the analysis of complex systems and decision processes // IEEE Trans. Syst. Man Cybern. – 1973. - No 3. - P. 28-44.
3. Дмитриев С.А., Кучер А.Г., Журавлева Л.А., Камышин В.В. Особенности использования FU-GENE-SYS алгоритмов в процессе синтеза нейронной модели состояний авиационного двигателя // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. трудов. – X., Гос. аэрокосм. университет „ХАИ”, 2000. - Вып. 19.
4. Rini P., Alsalini Z. & R.A. Van den Braembussche. Evaluation of a design method for radial impellers based on artificial neural network and genetic algorithm, Proceeding of 5th ISAIF. – 2001. - P. 535-543.
5. Serge Guillaume. Designing Fuzzy Inference systems from Data: An Interpretability-Oriented Review // IEEE Trans. On Fuzzy Systems, June 2001. - Vol. 9. - No. 3.

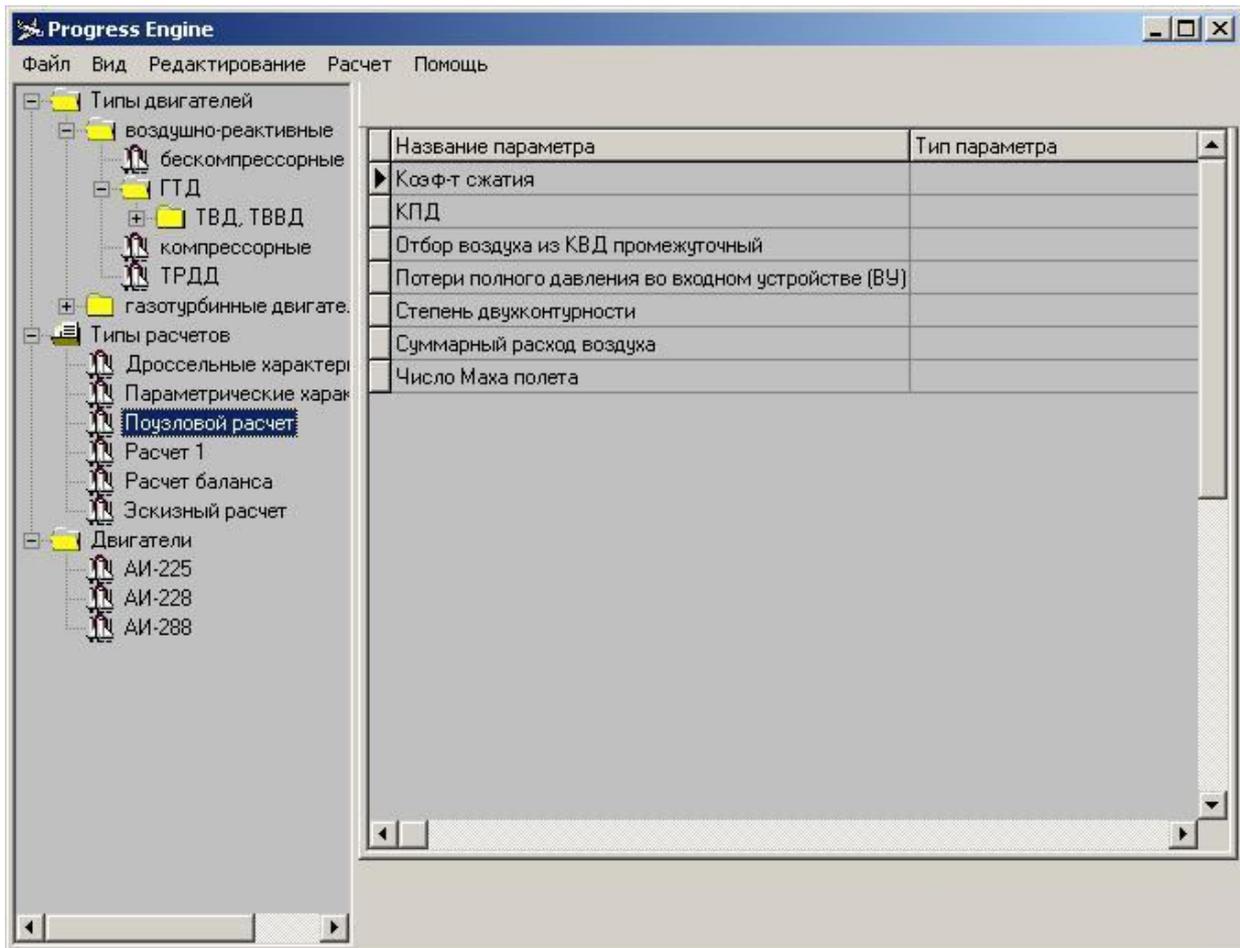


Рис. 2. Экранная форма обновления базы данных прототипа автоматизированной системы концептуального проектирования газотурбинных двигателей летательных аппаратов

6. Wang X.L. Fuzzy systems are universal approximators, Proc. FUZZ-IEEE'92, San Diego. – 1992., - P. 1163-1169.

7. Sugeno M., Yasukawa T. A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling // IEEE Trans. On Fuzzy Systems, 1(1):7-31, February 1993.

8. Heikki Mannila. Methods and problem in data mining. In F. Afrati and P. Kolaitis, editors, Proceedings of International Conference on Database Theory, Greece, Jan 1997. P. 41-55.

9. Goldberg D.E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. – N.Y.: Addison-Wesley, 1989.-412p.

10. Тунаков А.П. Методы оптимизации при доводке и проектировании газотурбинных двигателей. – М., «Машиностроение», 1979 г.

11. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей /Под. ред. С.М. Шляхтенко. – М.: Машиностроение, 1987.- 512 с.

12. Маслов В.Г. Теория выбора оптимальных параметров при проектировании авиационных ГТД.-М.: Машиностроение, 1981.-123 с.

Поступила в редакцию 15.04.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Харченко В.С., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков.