

ПОСТРОЕНИЕ ВИЗУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

П.А. Степанов (Санкт-Петербург)

При разработке сложных механизмов, узлов и агрегатов космических средств (КС) как объектов контроля на первый план выходят задачи обеспечения качества и надежности, решение которых невозможно без оценки технического состояния системы. Важнейшим способом выполнения этой оценки является анализ поступающей от контролируемых объектов (в данном случае от КС) телеметрической информации (ТМИ) и сравнение ее с данными имитационного моделирования.

Одним из общепринятых способов представления ТМИ является визуализация результатов ее обработки с помощью мнемосхем. Мнемосхемы представляют собой диаграммы из символических изображений элементов оцениваемого объекта, каждому из которых может сопоставляться обработанная телеметрическая информация. Типичным примером является демонстрация числовых значений, актуальных для узлов и агрегатов (например, давление в клапане изображается в виде числа рядом с клапаном, количество топлива в баке изображается как число на баке и т.д.). Другим важным способом является автоматическая оценка корректности состояния элемента мнемосхемы, например, если передаваемая телеметрическая информация отклоняется от расчетной, элемент может отображаться красным цветом.

Постановка задачи

В ракетно-космической технике (РКТ) мнемосхемы широко используются для контроля состояния технических средств [1,2]. При этом создание новых узлов, агрегатов и механизмов каждый раз ставит заново задачу инструментальной поддержки со стороны средств визуализации и контроля состояния элементов РКТ с использованием ТМИ. Разработка универсального инструментального средства, позволяющего описывать элементы РКТ и связывать значения ТМИ непосредственно с отображением этих элементов, позволила бы гибко адаптировать средства контроля технического состояния в условиях меняющихся задач.

Визуальный язык и модели его представления

Мнемосхему, как и любую диаграмму, можно трактовать как изображение (в простейшем случае – граф), имеющее синтаксис и семантику. По аналогии с текстовыми языками [3], для диаграмм вводится понятие визуальных языков [4]. Для описания таких языков разработаны формальные подходы, в частности:

– графовые грамматики – формализмы, созданные на основе детально проработанной теории текстовых грамматик [5]. Большое количество исследований в этой области вводят различные классы графовых грамматик, адаптированную классификацию Хомского, адаптированные алгоритмы разбора, в том числе алгоритмы Эрлея и Кока-Янгера-Касами. Типичной проблемой графовых грамматик является высокая сложность, из-за которой диаграмму часто делят на абстрактный граф синтаксиса (АГС), представляющий смысл, и пространственный граф отношений (ПГО), представляющий графическое отображение, после чего анализируют только АГС;

– алгебраические графовые трансформации – формализм, представляющий графы через теорию категорий, то есть граф является объектом, а преобразования графов – морфизмами [6]. При этом формализм оперирует графами сложной структуры, для которых ребра тоже могут быть связаны между собой ребрами;

– модели на основе λ - исчисления или комбинаторной логики оперируют с графами как с применениями λ - абстракций либо комбинаторов [7];

– модели на основе искусственного интеллекта строят редакторы диаграмм по заданным паттернам поведения. Модели требуют понимания принципов работы искусственного интеллекта для организации эффективного обучения;

– классификационные модели оперируют набором predetermined элементов диаграмм с заданным поведением; визуальный язык определяется выбранным подмножеством элементов, недостающее поведение восполняется средствами традиционного программирования [8].

Визуальный язык, по сравнению с текстовым языком, имеет специфические особенности, затрудняющие создание формальной модели его синтаксиса. В частности, в отличие от текста, диаграмма обычно не имеет начала и конца, может иметь несколько направлений для разбора, положение элементов диаграммы на листе может быть частью синтаксиса. Поэтому, несмотря на богатство подходов, они имеют общий недостаток: они либо достаточно сложны, либо недостаточно универсальны. При этом решение задачи создания универсального средства для работы с мнемосхемами требует использования моделей и алгоритмов, не требующих специальных математических знаний.

Вычислительная модель визуального языка

Для решения поставленной задачи предлагается использовать адаптированную вычислительную модель Э.Х. Тыгу [9,10]. Полученная модель получила название "вычислительная модель визуального языка" [11,12].

В основе оригинальной вычислительной модели лежит представление предметной области в виде семантической сети, в узлах которой находятся либо значения, либо математические соотношения, описывающие правила пересчета одних значений на основе других. Такая модель хорошо представляет знания и позволяет решать специфические задачи, в частности, давать ответ о том, существует ли решение поставленной задачи и какой путь к решению является кратчайшим.

Вычислительная модель визуального языка вносит ряд изменений. Прежде всего, вводится множество символов визуального алфавита (графических примитивов), каждый из которых обладает набором атрибутов. Визуальным примитивом называется $v = \{A, f_g(A)\}$, где A – множество атрибутов примитива, а $f_g(A)$ – графическая функция (функция, преобразующая значения атрибутов в изображение). Атрибуты экземпляров графических примитивов сопоставляются со значениями в узлах вычислительной модели. Атрибутом называется пара $a = \{n, v\}$, где n – имя атрибута или \emptyset , если оно не задано, а v – значение атрибута или \emptyset , если значение не определено. Атрибуты, принадлежащие графическим примитивам называются визуальными, а не принадлежащие – невизуальными.

Некоторые из графических примитивов обладают predetermined поведением для обработки событий интерфейса пользователя. Например, событие нажатия мыши транслируется в значение атрибутов обработавшего это событие графического примитива, что в дальнейшем позволяет обработать это событие путем пересчета состояния модели. При этом оконная часть пользовательского интерфейса реализуется путем вычисления значений специализированных функций.

Еще одним важным отличием является детерминированность (стационарность) модели. Вычислительная модель визуального языка не может недетерминировано обрабатывать интерфейс пользователя, поэтому предложены алгоритмы, приводящие ее к стационарному виду.

Таким образом, в рамках модели диаграмма задается соотношением $D = \{A, G, V, R\}$, где A – множество атрибутов, такое, что $A = A_n \cup A_v$, где A_n – множество невидимых атрибутов и A_v – множество визуальных атрибутов, то есть существует однозначное отображение из A_v в V ; G – алгебраическая система, заданная на множестве атрибутов; V – мультимножество визуальных элементов диаграммы, $v \in V \vdash v \in V_T$, где V_T – предопределенное множество известных визуальных элементов, для которого верно, что $\forall a \in v, v \in V \vdash a \in A_v, \forall a \in A_v \vdash a \in v \in V$, т.е. множество A_v состоит из тех и только тех атрибутов, которые принадлежат визуальным элементам из V ; R – множество правил вида $\text{cond}(c_i): a_i = f_j(A)$; $a_i \in A$. f_j задано в рамках алгебраической системы G , где c_i – условие, при истинности которого выполняется присвоение $a_i = f_j(A)$ (для краткости в случае, если условие всегда истинно, правило записывается как $a_i = f_j(A)$).

Синтаксис визуального языка, не связанный с изменением структуры диаграммы, при этом моделируется за счет правил из множества R , а синтаксис, связанный с изменением структуры (добавлением или удалением новых объектов), моделируется с помощью правил добавления и удаления фрагментов диаграмм. При этом фрагмент диаграммы сам представляет собой диаграмму, а устанавливаемые или удаляемые правила представляют собой множество, аналогичное множеству R .

У данного подхода несколько преимуществ. Прежде всего, он оперирует простыми математическими понятиями – значениями атрибутов и выполняемыми над ними функциями. Другим преимуществом является то, что не требуется выделение из диаграммы АГС, так как графическая составляющая является естественной частью модели. Наконец, модель дает важное преимущество при анализе ТМИ, так как телеметрируемые параметры могут быть легко представлены как невидимые атрибуты модели.

Пример

Рассмотрим фрагмент мнемосхемы подсистемы наддува топливных баков ракеты Союз-2. На мнемосхеме изображен редуктор давления РД, перекрывающий кран ПК и редуктор точной настройки РТН. Элементы соединены магистралью. При этом телеметрируемые параметры (давление в узлах подсистемы) контролируются на входе в РД, на выходе из РД и на выходе из РТН (рис.1).

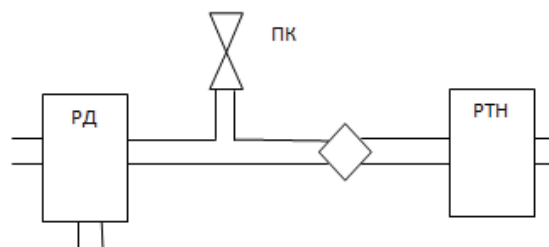


Рис. 1. Фрагмент мнемосхемы подсистемы наддува топливных баков ракеты Союз-2

Применяя вычислительную модель визуального языка, можно описать каждый из объектов мнемосхемы. Каждый из объектов “редуктор давления” и “редуктор точной настройки” описывается невидимыми атрибутами – координатами левого верхнего угла, шириной и высотой; в качестве визуальной составляющей используются четыре визуальных примитива “отрезок прямой”, начала и концы которых поставлены в зависимости от

невизуальных атрибутов по очевидным формулам. Аналогичным образом (с точностью до формул) описывается перекрывной кран. Магистраль содержит в себе больше атрибутов и экземпляров визуальных примитивов, однако использует тот же принцип в описании. Для того чтобы обеспечить связность модели необходимо установить соотношения между концами магистрали и теми объектами (РД, РТН, ПК) с которыми эти концы связаны.

Рассмотрим реализацию анализа телеметрической информации на примере мнемосхемы, представленной на рис. 1. Предположим, что реализованы функции f_1 , f_2 и f_3 , возвращающие логические значения и автоматически отвечающие на вопрос является ли расчетным давление на входе в РД (параметр d_1), на выходе из РД (параметр d_2) и на входе в РТН (параметр d_3) соответственно. Эти функции могут быть использованы различными способами.

Прежде всего, значение телеметрируемых параметров можно связать с атрибутами объектов. Предположим, что объект, представляющий РТН, имеет имя O и атрибут c , представляющий его цвет. Тогда можно установить два соотношения, а именно $cond(f_3(d_3)):O.c=green$ и $cond(\neg f_3(d_3)):O.c=red$. Таким образом, при изменении параметра d_1 . Источником телеметрической информации в зависимости от значения функции $f_3(d_3)$ цвет объекта может быть зеленым (нормальное состояние) и красным (обнаружена неисправность).

Еще одним способом визуализации телеметрической информации является связывание значений параметров с текстовыми полями, которые будут представлять их фактические значения на мнемосхеме. Такие текстовые поля являются визуальными примитивами и могут быть частью более сложных объектов, например, демонстрирующих расчетные характеристики на основании ТМИ и их автоматическую оценку.

В ситуациях длительного моделирования сложных устройств зачастую неудобно пользоваться телеметрируемыми параметрами непосредственно, так как их количество может составлять сотни и тысячи. Вычислительная модель визуального языка позволяет легко создавать интегральные параметры и создавать иерархии. В частности условие $cond(f_1(d_1) \wedge f_2(d_2))$ позволяет ответить, есть ли неисправности в зоне ответственности РД, а более общее условие $cond(f_1(d_1) \wedge f_2(d_2) \wedge f_3(d_3))$ анализирует корректность всей представленной на рис. 1 мнемосхемы. Выполняя моделирование, оператор может следить только за интегральным параметром, описывающим состояние модели, и переходить к частным параметрам ТМИ только в случае регистрации нештатных состояний.

Апробация работы

По результатам исследований были достигнуты следующие практические результаты:

- разработан универсальный настраиваемый редактор диаграмм [12];
- разработан макет системы анализа телеметрической информации на примере подсистемы наддува топливных баков ракеты “Союз-2” [13,14].

Заключение

В данной работе была описана вычислительная модель визуального языка, являющаяся адаптированной вычислительной моделью Э. Х. Тыгу для целей описания диаграмм. Показано, что модель пригодна для использования при оценке технического состояния ракетно-космической техники с помощью мнемосхем, при этом телеметрическая информация естественным образом может быть интегрирована в модель через специализированные атрибуты.

Литература

1. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. и др.** Теория и практика построения автоматизированных систем мониторинга технического состояния космических средств /Под ред. О.В.Майдановича; СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2011. 219 с.
2. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
3. **Гладкий А.В.** Формальные грамматики и языки / Мир, 1973. 368 с.
4. Chang S-K. Visual languages: A tutorial and survey // IEEE Software Magazine. 1987. Vol. 4, is. 1. P. 29–39.
5. **Pfaltz J.L., Rosenfeld A.** Web Grammar // Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence. Washington, D.C., 1969. P. 609–619.
6. **Ehrig H., Ehrig K., Prange U., Taentzer G.** Fundamentals of Algebraic Graph Transformation. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg. 2006.
7. **Erwig M.** Inductive Graphs and Functional Graph Algorithms // Journal of Functional Programming. 2001. Vol. 11, No. 5, P. 467–492.
8. **Степанов П.А., Бржезовский А.В.** Задание визуального языка с помощью универсального репозитория // Труды конференции седьмой Санкт-Петербургской Международной конференции “Региональная информатика-2000”. СПИИРАН. Санкт-Петербург, 2001.
9. **Тыгу Э. Х.** Концептуальное программирование. М.: Наука, 1984.
10. **Тыгу Э. Х.** Решение задач на вычислительных моделях // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1970 г. 3 : Т. 10. С. 716–733.
11. **Степанов П.А., Охтилев М.Ю.** Вычислительная модель визуального языка // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49, № 11. С. 28–32.
12. **Степанов П.А., Охтилев М.Ю.** Применение вычислительных моделей для создания редактора диаграмм // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 11. С. 939–942. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-11-939-943.
13. **Степанов П.А.** Применение вычислительной модели визуального языка к задачам визуального контроля технического состояния ракетно-космической техники // Авиакосмическое приборостроение. 2017. №5. С. 28–32.
14. **Степанов П.А., Охтилев М.Ю.** Эффективная разработка мнемосхем при контроле технического состояния ракетно-космической техники // Труды 19 международной конференции “Проблемы управления и моделирования в сложных системах”. ИПУСС. Самара, 2017. С. 224–229.