

роды выделенных возмущений, а также включение их в теорию движения космических аппаратов "Эталон" является предметом дальнейших исследований.

#### Список литературы

1. Неволько М.П., Бутенко В.В. и др. Результаты эфемеридного обеспечения, согласования системы координат и гeопотенциала по наблюдениям пассивных КА "Эталон" в 1989-1990 гг. // International Symp. "Etalon" Sattelite: Laser Data Analysis, Moscow, 3-9 June, 1991.

2. Ивахненко А.Г., Лапа В.Г. Предсказание случайных процессов. - Киев: Наукова думка, 1971.

УДК 681.3.06:62.50

Г.А.Опарин, Д.Г.Фоктистов

#### ОРГАНИЗАЦИЯ ЗНАНИЙ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ И ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖУЩИМИСЯ ОБЪЕКТАМИ

В Иркутском ВЦ СО РАН ведутся исследования по созданию широкого спектра многослойных инструментальных средств высокого уровня, позволяющих конструировать объектно-ориентированные автоматизированные технологии динамических исследований сложных непрерывно-дискретных систем управления движущимися объектами.

Специфику рассматриваемой проблемной области (ПО) определяют следующие основные свойства:

- наличие в описании ПО тесно связанных частей (слов), представляющих математические модели динамики функционирования сложной автоматической системы; алгоритмы, реализующие математические методы ее исследования; технологические схемы, представляющие методики исследования модели с помощью алгоритмов; числовые данные (значения параметров математической модели, алгоритмов ее исследования и технологических схем), определяющие вариант вычислительного эксперимента;
- модульность описаний каждого из перечисленных слов и, как

следствие, необходимость в развитых средствах спецификации сложно-структурированных ПО;

- гибридность математической модели, означающая, что динамика автоматической системы описывается совокупностью обыкновенных дифференциальных, разностных и алгебраических уравнений;

- большое разнообразие форм описания математической модели в целом и отдельных ее частей (имеется ввиду блочно-ориентированный метод описания, алгебраический метод описания, дифференциальные уравнения в форме Коши, дифференциальные уравнения, неразрешенные относительно старших производных, передаточные функции, представление уравнений динамики в скалярном виде, векторно-матричное представление уравнений динамики и др.);

- многомодельность динамического объекта, предусматривающая, что наряду с исходной сложной моделью на первых итерациях вычислительного эксперимента исследуется целый спектр упрощенных ее вариантов - линейные, стационарные, без возмущений, плоские, непрерывные, дискретные, одночастотные и др.

- наличие в сложной автоматической системе подсистем (каналов регулирования в системах управления положением объекта в пространстве, контуров управления в многоступенчатых системах стабилизации и др.);

- высокая размерность вектора состояния уравнений динамики, наличие существенно нелинейных элементов, жесткость системы дифференциальных уравнений;

- необходимость быстрого построения и отладки математической модели и алгоритма ее исследования;

- необходимость проведения быстрых расчетов в диалоговом режиме и ресурсоемких расчетов - в пакетном режиме;

- необходимость в проведении многовариантных, многосценарных расчетов и средствах их обеспечения (в виде пользовательских баз данных и других средств);

- необходимость взаимодействия с программным обеспечением в проблемно-ориентированных терминах на языке постановок задач высокого уровня (язык должен быть доступен пользователю-непрограммисту, включать удобные и практичные средства конструирования схем решения задач, обеспечивать гибкое и динамичное управление ходом вычислительного процесса, поддерживать автоматическую сборку программ из модулей);

- необходимость в коллективном проведении расчетов;

- требование высокой надежности результатов расчетов (что озна-

чает введение алгоритмической избыточности в технологическую схему исследования динамики);

- присутствие в ПО как формализованных знаний (имеются ввиду математические методы и алгоритмы их реализующие), так и экспертных знаний (речь идет о методиках исследования динамики, выбора метода исследования и управляющих параметров алгоритмов и др.);

- совмещенность фаз создания и эксплуатации программного обеспечения, необходимость в длительном регулярном его развитии и модификации;

- необходимость в средствах комплексирования (как по данным, так и по управлению) автономно разработанных программных систем при создании сверхбольших программных комплексов.

Основной инструментарий исследователя динамики систем управления в рамках развиваемой в ИрВЦ СО РАН САТУРН-технологии оформляется в виде прикладных интеллектуальных систем - пакетов знаний (ПЗ) /Л/, которые представляют собой интегрированные программные комплексы, объединяющие возможности пакетов программ и экспертных систем.

Под ПЗ в САТУРН-технологии понимается совокупность алгоритмических, схемных и технологических знаний о проблемной области и соответствующих средств их обработки. Алгоритмические и схемные знания носят формализованный характер, технологические знания являются экспертными.

Алгоритмические знания в соответствии с модульным принципом представляются в виде совокупности процедур, обеспечивающих решение отдельных этапов задач. Процедуры реализуются на базовых языках программирования и оформляются в виде библиотек подпрограмм.

Схемные знания определяют функциональную архитектуру ПО, которая характеризуется совокупностью таких понятий - действий как проблема, подпроблема, задачи, методы, алгоритмы, этапы, а также совокупностью понятий атрибутов перечисленных действий, называемых параметрами ПО. Этапы, называемые базисными операциями, имеют содержательный смысл в ПО и выполняют преобразование значений одних параметров ПО, называемых входными, в значения других параметров, называемых выходными параметрами операции. Построение схемы ПО в виде множеств базисных операций и параметров, в терминах которых возможны постановка любой требуемой задачи и представление алгоритма ее решения, составляет главную цель декомпозиции проблемы на этапе структурного анализа алгоритмов ПО

и их атрибутов. В рамках принятого формализма математическая модель динамического объекта относится к числу специфических параметров ПО — так называемых динамических параметров, являющихся в свою очередь операциями. Повышение лаконичности формулировок задач достигается путем создания с помощью набора определенных правил составных операций и параметров из базисных и ранее определенных составных. Каждой подпроблеме соответствует подмножество операций, композицией которых реализуется необходимый алгоритм метода решения требуемой задачи этой подпроблемы.

Между алгоритмическими и схемными знаниями установлены следующие связи: базисной операции соответствует базисный модуль — автономно транслируемая подпрограмма на базовом языке программирования, базисный параметр изображается также средствами языков программирования высокого уровня. Набор правил для создания составных операций позволяет автоматически синтезировать из базисных модулей программы линейной, ветвящейся, циклической и иерархической структуры.

Алгоритмические и схемные знания обеспечивают высокий уровень проблемно-ориентированного входного языка пакета, однако не снимают всех трудностей по освоению и использованию пакета программ в конкретных ситуациях. Суть проблемы заключается в том, что накопленный опыт (методики, правила, приемы, эвристики, рекомендации, советы — все то, что составляет "вычислительную кухню" использования пакета программ), как правило, остается в ящике стола исследователя и недоступен широкой аудитории. В связи с этим, САТУРН-технология обеспечивает представление в ПЗ наряду с традиционными для пакетов программ алгоритмическими и схемными знаниями технологических знаний, используемых в режиме функционирования ПЗ для оказания высококвалифицированных консультаций и выполняющих в автономном режиме роль обучающей системы по решению проблемы. Технологические знания представляются в виде продукции и являются рекомендациями для управления процессом решения задачи.

Между технологическими и схемными знаниями установлено соответствие таким образом, что условие продукции представляет логическую операцию ПО, а действие заключается в активизации вычислительной операции ПО или модификации схемных знаний.

Рассмотренная выше многослойная схема описания модели ПО, обеспечивающая модульное представление и гибкое комплексирование вычислительных и экспертных знаний, позволяет создать для исследователя

программно-технологическую среду высокого уровня для эффективного решения задач проектирования систем управления движущимися объектами.

#### Список литературы

Опарин Г.А., Феоктистов Д.Г., Журавлев А.Е. Инструментальное программное обеспечение для автоматизации разработки прикладных интеллектуальных систем //Сб. докл. Всесоюз. научно-техн. конф: "Интеллектуальные системы в машиностроении". Ч. 3. - Самара: СМ ИМАШ АН СССР, 1991. - С. 93-96.

УДК 629.78

Г.А.Педан, И.Г.Лагода

#### ПОСТРОЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НА ОКОЛОСТАЦИОНАРНЫХ ОРБИТАХ

Преимущества использования ИСЗ, движущегося на геостационарной орбите (ГСО), обусловили интенсивное заполнение этой орбиты различными информационными спутниковыми системами. При управлении их движением необходимо обеспечивать поддержание заданной орбитальной структуры для исключения взаимных помех и реализации этих преимуществ. Из-за влияния возмущающих факторов, в первую очередь нецентральности гравитационного поля Земли, притяжения Луны и Солнца, происходит изменение параметров орбиты ИСЗ на ГСО, что требует проведения периодических коррекций поддержания их в заданной области значений и сокращает время целевого использования ИСЗ. С помощью метода осреднения, разработанного Крыловым И.М., Боголюбовым Н.Н. и Митропольским Ю.А., авторами были исследованы основные закономерности эволюции движения ИСЗ на околостационарной орбите из-за влияния возмущений. Для анализа использовалась система дифференциальных уравнений движения ИСЗ для не-сингулярных переменных, свободная от особенностей, связанных с геостационарной орбитой (эксцентриситет  $e$  и наклонение орбиты  $i$  близки к 0):