

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОРТОВЫХ БАЗ ЗНАНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Современные космические аппараты (КА) представляют собой сложные технические комплексы, включающие целый ряд подсистем – систему автономной навигации, систему терморегулирования, систему энергоснабжения, систему телеметрических измерений и другие, которые, в свою очередь, состоят из множества приборов, агрегатов, датчиков и т.д. Всего на борту насчитываются сотни приборов, имеющих большое число параметров, режимов работы, обрабатываемых команд. Управление подобным комплексом, обеспечивающее успешное и своевременное выполнение КА поставленных перед ним целевых задач, является непростой проблемой. Решение задач управления обеспечивается скоординированной работой средств наземного комплекса управления (НКУ) и бортового комплекса управления (БКУ) [1]. Бортовой комплекс управления КА в качестве одного из ключевых элементов содержит бортовую вычислительную систему (БВС), состоящую из нескольких бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ). На них выполняется комплекс бортового программного обеспечения (БПО), включающий набор системных, прикладных, диспетчерских, библиотечных и других программ. Комплекс БПО также включает на современных КА сотни программных модулей, взаимодействующих между собой и функционирующих в режиме реального времени.

В течение всего срока активного существования необходимо решать задачу определения множества управляющих воздействий, необходимых для набора и поддержания требуемой для реализации конкретной бортовой функции конфигурации бортовых средств. Традиционно логика управления КА, в том числе в случае нештатных ситуаций, жёстко «зашита» в код управляющих программ. Однако известны и более гибкие подходы к решению проблемы.

Весьма интересен опыт развивавшейся в СССР с конца 60-х годов школы ситуационного управления (Д.А. Поспелов, Ю.И. Клыков, Л.С. Загадская и др.). Подход использовался для решения задач управления, когда другие методы не давали решения. В ситуационных моделях использовались знания об объекте управления и методах управления им, а также применялись такие традиционные для искусственного интеллекта (ИИ) приёмы, как описание ситуаций, складывающихся на объекте управления на ограниченном и формализованном естественном языке, использование псевдофизических логик для оценки и преобразования ситуаций, обучение при накоплении информации в памяти системы, планирование целесообразных действий по управлению и использованию информации от технологов

и управленцев.

Значительный опыт имеется в данной проблемной области у ОАО ИСС, г. Железнодорожск. На борту создаваемых ими аппаратов в составе БПО присутствуют специальные интерпретаторы правил [2], фактически являющиеся упрощенным аналогом машины вывода классической экспертной системы. Так, интерпретатор правил «Дежурный контроль и диагностика» (ДКД) предназначен для обнаружения и парирования возникающих отказов. Разработка правил осуществляется непосредственно специалистами по системам КА с помощью специально созданного языка, максимально использующего понятия предметной области. Система формирования правил обеспечивает «дружелюбный» интерфейс и возможность отдельного формирования фрагментов знаний различными пользователями. Затем происходит преобразование правил в компактные бортовые структуры. К моменту готовности КА к запуску количество правил автономного принятия решений достигает нескольких сотен. В процессе эксплуатации это количество обычно увеличивается ещё на 20-30%, так как возможность разработки новых правил непосредственно специалистами по бортовой аппаратуре (БА) делает средства автономного управления и контроля основным и эффективным средством ремонта и улучшения характеристик КА в течение всего срока активного существования.

Как известно, база знаний обычно входит в состав экспертной системы и представляет собой набор структурированных знаний, часто в виде правил, имеющих форму ЕСЛИ ... ТО ... и описывающих, например, способ вывода некоего заключения на основе имеющихся посылок. Классическая структура подразумевает следующие компоненты: 1) База знаний; 2) Человеко-машинный интерфейс (диалоговый компонент); 3) Машина вывода («решатель»); 4) Средства приобретения знаний (компонент приобретения знаний); 5) Подсистема объяснения (объяснительный компонент). В структуре экспертной системы может также присутствовать база данных. Для случая бортовой базы знаний в базе данных накапливаются статические и динамические параметры, описывающие параметры аппарата, орбиты и т.д. Постоянная часть содержит статические данные о КА и других КА группировки, решающих совместно целевую задачу. Переменная часть содержит данные, которые меняются в процессе полёта - координаты, скорости, угловое положение КА и других КА.

Обозначим  $L = \{ \alpha_i \}$  – множество условий, отображающих ситуацию на борту КА;  $F = \{ F_j \} = K \cup P$  – множество действий, включающее в себя  $K$  - множество команд управления (КУ) бортовой аппаратурой, и  $P$  - специальные бортовые программы, включённые в

паттерн обеспечения живучести. Правило бортовой базы знаний, направленной на обеспечение живучести КА, может выглядеть в таком случае как отображение  $L \rightarrow F$ . Набор правил можно разбить на две части. В первой части на основе анализа набора условий делается вывод о наличии на борту КА той или иной нештатной ситуации, правило имеет вид  $L \rightarrow A$ . Вторая часть включает множество правил, описывающих реакцию на возникшую ситуацию, правила в ней имеют вид  $A \rightarrow F$ . Или, более точно,  $A \times T \rightarrow F \times T$ , где  $T$  – множество моментов бортовой шкалы времени, поскольку может иметь значение время проверки тех или иных условий, а выдача управляющего воздействия для восстановления работоспособности КА представлять собой не единичный акт, а циклограмму, реализующую набор операций, взаимоувязанных по времени.

Значительные усилия, однако, при этом должны быть направлены на создание средств извлечения знаний разработчиков в виде чётко определённых правил принятия решений на всех этапах создания и эксплуатации КА. Также необходимы средства проверки совокупности правил на полноту и непротиворечивость. Это непростая задача. Исходная информация о правилах управления в нештатной ситуации («логике управления») представляется в основном в виде вербальных описаний, имеющих, как правило, выраженный фрагментарный характер. При этом недостаточно хорошо конкретизированы причинно-следственные закономерности, обуславливающие структурные взаимосвязи этих фрагментов, правила их активации и последовательности использования. Формализация, структуризация и использование правил по управлению КА может рассматриваться как неотъемлемая часть технологии информационной поддержки изделия (CALS-технологии) [1,2].

Как отмечено в [2], средства автономного управления, реализованные на принципах разделения машины вывода и базы знаний, по формальным признакам могут быть отнесены к экспертным системам реального времени, компоненты которой распределены между наземным комплексом и КА, но для доведения этих средств до полноценной экспертной системы необходимо дальнейшее совершенствование. Оно подразумевает, в частности, ранжирование - создание иерархии правил, увеличение мощности интерпретаторов, автоматизацию анализа набора правил на полноту и непротиворечивость. В этих средствах не происходит самостоятельного порождения новых знаний, новых правил, что делает весьма актуальной проблему создания средств приобретения знаний по управлению КА.

### Библиографический список

- 1 Кирилин, А. Н. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли: математические модели, компьютерные технологии [Текст] / А. Н. Кирилин, Р. Н. Ахметов, А. В. Соллогуб, В. П. Макаров. – М.: Машиностроение, 2010. – 344 с.
- 2 Хартов, В. В. Автономное управление космическими аппаратами связи, ретрансляции и навигации [Текст]/В. В. Хартов. Авиакосмическое приборостроение – 2006. – №6. – С. 29-33.
- 3 Заведеев, А. И. Принципы диагностики системы управления космического аппарата [Текст]/ А. И. Заведеев, А. Ю. Ковалев, А. С. Сыров, М. А. Шатский // тезисы докладов научно-технической конференции «Системы управления беспилотными космическими и атмосферными летательными аппаратами», - М.: МОКБ «Марс», 2010.