

Краевая С.Ю., Майданович О.В., Жигулёвцев Ю.Н., Дорошевич П.В., Куимов А.В.

**ОБОСНОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ
СРЕДСТВАМИ НАЗЕМНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РАКЕТ
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Современные ракеты космического назначения (РКН) отличаются высокой сложностью, динамичностью (изменением вектора состояния в широких диапазонах) и разнообразием условий и режимов функционирования. К техническим характеристикам современных РКН предъявляются высокие требования, особенно к точности выведения полезной нагрузки и энергетической эффективности. Информационной основой достижения и поддержания требуемого уровня тактико-технических характеристик служит оценка параметров управляемого движения, связанная с процессами получения, сбора, обработки и анализа высокоточных измерений текущих навигационных параметров (ТНП).

Эффективность решения задачи оценивания параметров управляемого движения обеспечивается использованием современных бортовых средств высокоточных измерений:

- комплекса командных приборов (ККП) системы управления движением и навигации (СУДН);
- аппаратурой спутниковой навигации (АСН), либо навигационной аппаратурой потребителя (НАП) глобальных космических навигационных систем.

Следует отметить, что системы спутниковой навигации сохраняют геометрический фактор и непрерывное навигационное поле требуемой точности до высот ≈ 2000 км. Поэтому для измерений ТНП составных частей РКН на высотах, превышающих данную границу, используют приемоответчики наземных средств внешнетраекторных измерений (ВТИ).

Формируемые бортовыми средствами измерений ТНП передаются на средства наземного измерительного комплекса (НИК) РКН в составе кадра бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ) (информация СУДН) и кадра АСН (НАП), совместно с телеметрическими сообщениями группового телеметрического сигнала. Такой способ передачи ТНП определяет организацию навигационно-баллистического обеспечения (НБО) пуска и полета РКН, как составного элемента программы работы НИК РКН,

выполняемого в едином комплексе с мероприятиями информационно-телеметрического обеспечения (ИТО).

Планирование и реализация программы работы НИК в части НБО состоит в выполнении следующих основных мероприятий:

- разработка технической и управляющей информации, доведение её до средств НИК, оперативное управление ими;
- прием и регистрация телеметрической информации (ТМИ) средствами НИК;
- проведение сеансов ВТИ средствами НИК;
- сбор измерительной информации в центры контроля полетом (ЦКП);
- выделение ТНП из потока ТМИ;
- обработка ТНП, расчеты вектора состояния РКН и параметров орбит;
- отображение полетной информации на средствах коллективного и индивидуального отображения для контроля и оценки состояния РКН в полете.

Разработка программы работы средств НИК и выработка воздействий оперативного управления осуществляется на основе всестороннего анализа следующих факторов:

- {M} – множество факторов средств измерений;
- {C} – множество факторов средств передачи данных;
- {S} – множество факторов потоков измерительной информации;
- {Q} – множество факторов возмущающих воздействий.

В формализованном виде задачи планирования и оперативного управления выглядят следующим образом:

$$P \Rightarrow F(M, C, S, Q_{st}), \quad (1)$$

$$U \Rightarrow F(M, C, S, Q_{st}, P, Q_{sl}), \quad (2)$$

где P – параметры программы работы средств НИК; U – параметры оперативных управляющих воздействий; Q_{st} – систематические возмущающие воздействия, вызванные условиями радиовидимости средств НИК и динамическими операциями РКН; Q_{sl} – случайные возмущения, вызванные преднамеренными и непреднамеренными помехами, ошибками операторов средств НИК и др.

При этом требуется обеспечить непрерывную доставку информации в ЦКП в пределах зон радиовидимости средств НИК

$$S_{\text{скр}} = \bigcup S_{\text{ник}}.$$

Следует отметить, что многие факторы, определяющие условия проведения мероприятий ИТО и НБО запуска, имеют «релейный» характер изменения: условия радиовидимости средств измерений и приема информации, характеристики потоков измерительной информации, коммутация средств измерений в линии связи. Кроме того, случайные возмущающие воздействия и отсутствие методик прямого контроля качества измерений (проводится по косвенным характеристикам служебной информации) вносят фактор неопределенности и риска. Данные объективные обстоятельства существенно усложняют математическое описание процессов функционирования НИК и не позволяют сформулировать детерминированные аналитические описания функциональных зависимостей планирования и оперативного управления средствами НИК (1), (2).

Все вышеизложенное обосновывает потребность внедрения процедур интеллектуализированного управления средствами НИК на основе экспертных систем (ЭС).

Ядром ЭС являются знания экспертов в области измерений, сбора и обработки информации, которые используются для принятия управленческих решений (осуществление интеллектуальной поддержки) при выполнении задач информационного обеспечения запусков РКН, особенно в нештатных ситуациях. Объем знаний, хранящихся в системе, широта охвата и детализация описания предметной области, структуры хранения знаний, в первую очередь определяют вычислительные возможности ЭС и эффективность решения конкретной прикладной задачи.

Знания экспертов структурируются и хранятся в особых хранилищах, именуемых базами знаний (БЗ), в представлении, обеспечивающем эффективную работу с ними специализированных вычислительных средств для выдачи рекомендаций оператору (система вывода на знаниях). Общий подход к проектированию БЗ заключается в представлении знаний наборами конструкций достаточно общего вида, хранимых, пополняемых и изменяемых независимо от использующих их программ. Это обеспечивает гибкость и расширяемость программного обеспечения, преемственность разрабатываемых с его помощью решений [1-3].

Анализ особенностей процессов управления средствами НИК в нештатных ситуациях показал целесообразность использования продукционной модели знаний. В моделях данного типа используются элементы логических моделей и семантических сетей. Из логических моделей заимствована идея правил вывода, называемых здесь продукциями, а из семантических сетей – описание знаний. В основе правил продукции лежит набор разрешенных преобразований, с помощью которых происходит

продвижение от начального состояния до окончания решения задачи. Правила продукции позволяют принимать в расчет многочисленные данные, характеризующие ситуацию и учитывать конкретные данные в конкретной ситуации. К достоинствам данной модели относятся: модульность, модифицируемость, доступность чтения, способность к самообъяснению [4-6].

Продукционная модель знаний позволяет реализовать поиск решений на основе математического аппарата сетей Петри (СП). Данный подход обеспечивает в реальном масштабе времени анализ текущей ситуации и управление переходами из одного состояния в другое, исходя из состояния измерительных средств (частота, время приема, уровень сигнала), а также обеспечивает проверку корректности связей и отсутствия противоречий. Такая система, согласно продукционным правилам, содержится в базе знаний, выдает рекомендации по переходу в то или иное состояние, которое отображается с помощью интерфейса оператора, позволяя ему принять решение по выполнению (или невыполнению) тех или иных действий (например, выдать команду на переключение средств, частот и т.п.). Каждое продукционное правило указывает, каким образом можно получить значение целевых атрибутов по значению исходных атрибутов.

Используя математические модели и объектное представление уровня декларативных знаний можно привести продукционные правила к виду:

ЕСЛИ: ({ОБЪЕКТ.АТРИБУТ.ЗНАЧЕНИЕ} {ОТНОШЕНИЕ} {ЭТ. ЗНАЧЕНИЕ});

ТО: ({ОБЪЕКТ.АТРИБУТ.ЗНАЧЕНИЕ} {ОТНОШЕНИЕ} {ЭТ. ЗНАЧЕНИЕ}).

При этом, позициям СП сопоставляются элементарные отношения, входящие в состав продукционных правил. Переходам можно поставить в соответствие продукционные правила, описывающие нештатные ситуации и действия при их возникновении.

Для виртуальной имитации СП используется программный пакет CPN Tools [7], который содержит необходимый функционал, включая моделирование. Функционал CPN Tools позволяет создать модель, провести анализ поведения модели с помощью имитации динамики сети Петри, построить и проанализировать пространство состояний модели измерительного комплекса.

Таким образом, использование системы управления радиотехническими средствами НИК интеллектуализированной модели предметной области в виде системы источников знаний с использованием сетей Петри и функционала CPN Tools позволит повысить оперативность принятия решений руководителем работ и надежность получения измерительной информации от РКН, обеспечит автоматизацию типовых задач

измерительных систем, а также позволит парировать неблагоприятное развитие нештатных ситуаций при информационном обеспечении запусков космических аппаратов.

Библиографический список

1. Д. Уотермен. Руководство по экспертным системам. – М.: Мир, 1989 – 392с.
2. П. Джексон. Введение в экспертные системы: Пер. с англ.– М.: ИД Вильямс, 2001. 624с.
3. Экспертные системы. Принципы работы и примеры /Под ред. Р. Форсайта. – М.: Радио и связь, 1987. 224с.
4. Ковальски Р. Логика в решении проблем: Пер. с англ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 280с.
5. Элти Дж., Кумбс М., Экспертные системы: концепции и примеры/Пер. с англ. и предисл. Б.И. Шитикова. – М.: Финансы и статистика, 1987. 191с.
6. Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн.2. Модели и методы: Справочник / Под. ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. 304с.
7. Д.О. Романников, А.В. Марков. Об использовании программного пакета CPN Tools для анализа сетей Петри. Сборник научных трудов НГТУ.- 2012-№2(68). С. 105-116.