

Применение экспертной диагностической системы для обнаружения и устранения сбоев в функционировании программного комплекса БНО ГНСС

© З. А. Позяева

АО «Российские космические системы», г. Москва, Россия

Для выполнения требований к точности, целостности и доступности услуг спутниковой навигации необходима надежная работа систем эфемеридно-временного обеспечения. Особое значение имеет надежность функционирования программного обеспечения, используемого для формирования и уточнения эфемеридно-временной информации (ЭВИ). Сбои, возникающие при эксплуатации программного комплекса баллистико-навигационного обеспечения, необходимо локализовывать и устранять в кратчайшие сроки. Одним из вариантов решения этой проблемы является применение экспертной системы на базе продукционной системы CLIPS для диагностики, контроля и управления функционированием программного комплекса.

Ключевые слова: баллистико-навигационное обеспечение, онтология, база знаний, продукционная система, экспертная диагностическая система.

Введение

Программный комплекс (ПК) баллистико-навигационного обеспечения (БНО) ГНСС применяется для обработки траекторных измерений ГНСС и уточнения эфемеридно-временной информации. Он включает в себя подсистему предварительной обработки измерительной информации, подсистему определения параметров орбит КА и общие модули [1]. Комплекс реализован с помощью языка программирования C++ с использованием библиотеки Qt и СУБД PostgreSQL.

ПК БНО ГНСС представляет собой сложную для разработки и эксплуатации систему. Так как к оперативности, точности и целостности

эфемеридно-временной информации предъявляются высокие требования, необходимо минимизировать количество возможных ошибок и дефектов в программном комплексе БНО ГНСС, а сбои, возникающие в процессе эксплуатации, должны быть локализованы и устранены в кратчайшие сроки.

В настоящее время основными способами обнаружения и устранения ошибок и дефектов в программных системах являются тестирование, статический анализ кода и динамический анализ кода. Существующие методы поиска и устранения ошибок в программных системах подразумевают использование различных вспомогательных инструментов и требуют значительного количества времени на выполнение. Для сложных программных систем возникает проблема анализа больших объемов информации. При этом пользователь должен опираться на свой опыт в области программной инженерии и знания о предметной области, в которой работает программа. Вследствие этого существует потребность в средствах для автоматизации поиска и устранения ошибок в программных системах. Задача является достаточно сложной и вряд ли может быть решена формальными методами. Для решения поставленной задачи предлагается использовать систему, основанную на знаниях.

Модель представления знаний о функционировании ПК БНО ГНСС

Знания, используемые при разработке и эксплуатации ПК, можно отнести к двум категориям:

- 1) нормативные знания. Содержатся в технической документации ПК;
- 2) экспертные знания. Представляют собой слабо структурированную информацию, получаемую непосредственно при разработке, тестировании и эксплуатации ПК, как правило, не зафиксированную в технической документации.

Недостатком нормативных знаний является их неполнота: невозможно описать все аспекты функционирования ПК и взаимосвязи его отдельных компонентов в технической документации. Использование экспертных знаний о функционировании ПК способствует более быстрому устранению сбоев. Однако в настоящее время отсутствуют специализированные программные средства сбора и организации экспертных знаний и инструменты для их использования в процессе эксплуатации ПК. Для решения поставленной задачи была разработана

модель представления знаний о функционировании программного комплекса M (1):

$$M = \langle L_{\text{бл}}, L_{\text{пар}}, L_{\text{ош}}, L_{\text{пр}} \rangle, \quad (1)$$

где $L_{\text{бл}}$ — уровень блоков, $L_{\text{пар}}$ — уровень параметров, $L_{\text{ош}}$ — уровень ошибок и дефектов, $L_{\text{пр}}$ — уровень правил.

Уровень блоков (2) содержит совокупность множеств понятий-сущностей $X_{\text{бл}}$ предметной области, соответствующих таким объектам, как ПК, подсистемы ПК, программные модули, библиотеки, классы, функции, инструкции программного кода, источники данных (внешние и локальные), файловые архивы, таблицы баз данных, стороннее программное обеспечение, и множеств понятий-отношений $\mathfrak{R}_{\text{бл}}$, описывающих связи между ними:

$$L_{\text{бл}} = X_{\text{бл}} \cup \mathfrak{R}_{\text{бл}}. \quad (2)$$

Уровень параметров (3) содержит совокупность множеств понятий-сущностей $X_{\text{пар}}$, объединяющих параметры блоков ПК, множеств понятий-отношений $\mathfrak{R}_{\text{пар}}$, описывающих связи между ними, и множеств допустимых значений параметров $\Phi_{\text{пар}}$:

$$L_{\text{пар}} = X_{\text{пар}} \cup \mathfrak{R}_{\text{пар}} \cup \Phi_{\text{пар}}. \quad (3)$$

Уровень ошибок (4) содержит совокупность множеств $X_{\text{ош}}$ возможных причин сбоев ПК и совокупность множеств $\mathfrak{R}_{\text{ош}}$ связей между ними:

$$L_{\text{ош}} = X_{\text{ош}} \cup \mathfrak{R}_{\text{ош}}. \quad (4)$$

Обнаружение и устранение сбоев функционирования ПК обеспечивается использованием совокупности множеств продукционных правил $X_{\text{пр}}$, связанных между собой отношениями $\mathfrak{R}_{\text{пр}}$, и аксиом $\Phi_{\text{пр}}$, содержащихся на уровне правил (5):

$$L_{\text{пр}} = X_{\text{пр}} \cup \mathfrak{R}_{\text{пр}} \cup \Phi_{\text{пр}}. \quad (5)$$

Модель поиска и устранения ошибок в ПК БНО ГНСС

Для выполнения оперативного поиска и устранения дефектов и ошибок в программном комплексе БНО ГНСС была разработана модель следующего вида (6):

$$M = \langle B, P', N, O, R \rangle, \quad (6)$$

где B — множество возможных ошибок и дефектов ПК; P' — множество текущих значений параметров, характеризующих корректность

функционирования ПК; N — множество допустимых (нормальных) значений параметров; O — онтология ПК; R — множество правил для поиска и устранения ошибок и дефектов ПК.

На основе данной модели разрабатывается система контроля функционирования программного комплекса БНО ГНСС, включающая в себя экспертную диагностическую систему (ЭкДС).

Возможные причины неудовлетворительного функционирования программных модулей (ПМ) можно разделить на три категории с точки зрения различных видов обеспечения ПК: алгоритмического (B_A), информационного (B_I) и программного (B_P). Таким образом, множество возможных ошибок и дефектов ПК БНО ГНСС можно представить в следующем виде (7):

$$B = \{B_A, B_I, B_P\}. \quad (7)$$

При разработке модели обнаружения сбоев и поиска ошибок ПК был выполнен анализ предметной области и построена ее онтологическая модель. Под онтологией понимается точная спецификация предметной области [8]. Формальная модель онтологии O представляет собой упорядоченную тройку конечных множеств (8):

$$O = \langle X, \mathfrak{R}, \Phi \rangle, \quad (8)$$

где X — конечное непустое множество концептов (понятий, терминов) предметной области, которую представляет онтология O ; \mathfrak{R} — конечное множество отношений между концептами заданной предметной области; Φ — конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и/или отношениях онтологии O .

Параметры $\{P\}$, характеризующие ПК, можно условно разделить на 2 группы: параметры (атрибуты), общие для различных программных комплексов, и специфические параметры ПК. В соответствии с онтологической моделью выделяются параметры модулей в зависимости от их типа (по выполняемой функции), параметры используемых классов библиотек ПК, параметры, характеризующие обрабатываемые данные, а также параметры, характеризующие требуемые ресурсы.

Обнаружение сбоев выполняется с помощью сравнения текущих значений параметров ПК с заданными нормальными значениями. Система обнаружения сбоев на основе анализа значений параметров ПК выполняет диагностический мониторинг функционирования ПК и представляет собой параллельный процесс, который периодически

анализирует состояние ПК, представленное текущими значениями параметров, с целью обнаружить ошибку.

Поиск и устранение ошибок и дефектов в ПК выполняется с помощью продукционных правил [2], т. е. правил вида «ЕСЛИ <условие>, ТО <действие>», содержащихся в базе знаний экспертной диагностической системы. Экспертные системы диагностического типа содержат правила $\{R_c\}$, позволяющие определить, имеет ли место сбой (неисправность), другие правила $\{R_n\}$, позволяющие локализовать причину сбоя, и правила $\{R_y\}$, позволяющие исправить ошибку и устранить сбой, если это возможно.

Экспертная диагностическая система

На основе модели представления знаний о функционировании ПК и модели поиска и устранения ошибок и дефектов разработано приложение на языке программирования CLIPS (версия 6.30) [2,3], интегрированное в разработанное на языке C++ с использованием библиотеки Qt (версия 4.8) приложение с графическим интерфейсом. CLIPS является наиболее часто используемым средством разработки экспертных систем продукционного типа. Для организации интерфейса между C++ и CLIPS использована библиотека `clipsmm` [4]. Исходные данные загружаются в рабочую память из соответствующих таблиц базы данных под управлением СУБД PostgreSQL и файловых архивов, используемых программным комплексом БНО ГНСС.

Ядро ЭкДС [2] составляют база знаний, рабочая память и механизм логического вывода (рис. 1). База знаний содержит правила, долгосрочные факты, описывающие соответствующую предметную область, а также некоторые процедуры и функции, реализующие оптимизационные и расчетные алгоритмы.

Данные из рабочей памяти являются базовой информацией для машины логического вывода, которая анализирует их и решает, какие правила из базы знаний должны быть использованы для получения заключения о сбое.

Рассмотрим пример использования ЭкДС для поиска причины некорректных результатов задачи фильтрации ИТНП. В тестовом примере в запросе к БД был указан неправильный фильтр. На первом этапе проверяются значения настраиваемых параметров. Если ошибок в настройках не было выявлено, далее проверяются промежуточные результаты, используемые программой. В данном случае для

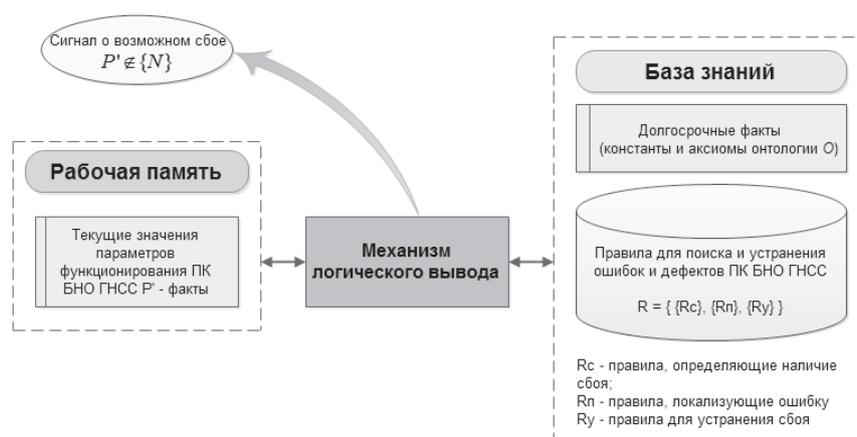


Рис. 1. Ядро ЭкДС

фильтрации загружены аномальные сеансы. Выполняется проверка исходного кода функций, обеспечивающих загрузку измерений, после чего ЭкДС выдает сообщение об ошибке в запросе к БД. Подобные ошибки происходят при модификации исходного кода из-за невнимательности разработчика. Как правило, они должны выявляться на этапе тестирования и отладки, но применение экспертной системы может ускорить их обнаружение и локализацию.

Заключение

По итогам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1) программный комплекс БНО ГНСС представляет собой сложную систему, для контроля функционирования которой необходимы автоматизированные средства. Предлагается использовать систему контроля функционирования, основанную на экспертных знаниях;

2) центральным элементом системы контроля функционирования является экспертная диагностическая система. Использование ЭкДС позволяет автоматизировать и ускорить выявление сбоя, поиск и, по возможности, устранение его причин;

3) к недостаткам ЭкДС можно отнести необходимость поддерживать базу знаний в актуальном состоянии при доработке и модификации ПК БНО ГНСС.

Предложенная технология может использоваться как при разработке, отладке и тестировании программного комплекса БНО ГНСС, так и при его эксплуатации.

Литература

1. Бетанов В. В., Ларин В. К. Использование системного подхода к решению проблемных вопросов функционирования автоматизированного комплекса программ баллистико-навигационного обеспечения полетов КА ГНСС // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. — 2016. — Т. 3, вып. 1. — С. 3–10.
2. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2007. — 1152 с.
3. CLIPS Reference Manual, Volume II, Advanced Programming Guide // CLIPS: A tool for building expert systems.
URL: <http://clipsrules.sourceforge.net/documentation/v624/apg.pdf>.
4. C++ CLIPS Interface Library. URL: <http://clipsmm.sourceforge.net/>.

Using an Expert Diagnostic System to Find and Remove Failures in the Work of the Ballistic and Navigational Support Software

Z. A. Pozyaeva

It is necessary to have a reliable ephemeris and time support system in order to meet the accuracy, integrity and availability requirements in the satellite navigation. Reliability of the software which is used to generate and refine the ephemeris and time information (ETI) is the matter of particular importance. Failures that occur when a ballistic and navigational support software is in operation should be localized and resolved in the shortest possible time. A solution to this problem is our expert system based on the CLIPS production system for diagnostics, monitoring and software control.

Keywords: ballistic and navigational support, ontology, knowledge base, production system, expert diagnostic system.