

Институт информационных и вычислительных технологий
МОН РК

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби

Университет Туран



МАТЕРИАЛЫ

II Международной научной конференции
«Информатика и прикладная математика»
«Информатика және қолданбалы математика»
«Computer Science and Applied Mathematics»

(ЧАСТЬ I)

27-30 сентября 2017 года, Алматы, Казахстан

Алматы 2017

Секция 1. Современные проблемы прикладной математики, информатики и теории управления			
		6	<i>Syzdykov M.B.</i>
<i>Assanova A.T.</i>	APERIODIC IN THE STRIP SOLUTIONS OF THE QUASILINEAR HYPERBOLIC EQUATION WITH MIXED DERIVATIVES	7	<i>Алимхан К., Калимолдаев М.Н., Мамырбаев О.Ж., Тасболатұлы Н.</i>
<i>Dzalilov Z., Zarei M., Rubinov M., Bagirov A.</i>	GLOBAL OPTIMIZATION METHODS FOR CLUSTERING RESTING STATE FUNCTIONAL MRI DATA	18	<i>Ахметова М., Балгабаева Л.Ш., Сейдахметова Г.Е.</i>
<i>Kochetov Y.A.</i>	HYBRID METAHEURISTICS IN COMBINATORIAL OPTIMIZATION (Abstracts)	26	<i>Ахметова М., Балгабаева Л.Ш., Сейдахметова Г.Е.</i>
<i>Plesniewicz G., Karabekov B., Masherov D.</i>	A LOGICAL SPECIFICATION LANGUAGE FOR ONTOLOGIES IN THE SYSTEM “BINARY MODEL OF KNOWLEDGE”	26	<i>Білал Ш.</i>
<i>Posypkin M.A., Usov A.L.</i>	IMPLEMENTATION AND VERIFICATION OF BENCHMARK FUNCTIONS FOR GLOBAL OPTIMIZATION PROBLEMS	42	<i>Кенжебек Е.Ф., Иманкулов Т.С., Ахмед-Заки Д.Ж.</i>
<i>Sharipbay A., Barlybayev A., Kuzenbayev B., Nurlybekov N.</i>	NEW METHODS OF EVALUATING THE QUALITY OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS	56	<i>Мустафин М.Б., Иманкулов Т.С., Дарибаев Б.С., Ахмед-Заки Д.Ж.</i>
<i>Skliarova I.</i>	TEACHING DIGITAL DESIGN – A CASE STUDY OF EXPLORING BOOTH ALGORITHM	74	<i>Шарипбай А.А., Ниязова Р.С., Кузенбаев Б.А.</i>
<i>Sklyarov V., Skliarova I.</i>	PARALLEL SORT AND SEARCH IN DISTRIBUTED COMPUTER SYSTEMS	86	<i>Ахмедов Д.Ш., Елубаев С.А., Бопеев Т.М., Сухенко А.С.</i>

<i>Syzdykov M.B.</i>	METHODS FOR OCR TEXT MATCHING	105
<i>Алимхан К., Калимолдаев М.Н., Мамырбаев О.Ж., Тасболатұлы Н.</i>	ҚАТАҢ ЕМЕС ШАРТ ЖАҒДАЙЫНДА АНЫҚТАЛМАҒАН СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІ ШЫҒЫС КЕРІ БАЙЛАНЫСЫ АРҚЫЛЫ КЕҢ АУҚЫМДЫ ПРАКТИКАЛЫҚ БАҚЫЛАУ	114
<i>Ахметова М., Балгабаева Л.Ш., Сейдахметова Г.Е.</i>	МАТЕМАТИКА МЕН ЭЛЕКТИВТІ ПӘНДЕР БАЙЛАНЫСЫ	129
<i>Ахметова М., Балгабаева Л.Ш., Сейдахметова Г.Е.</i>	ПӘН АРАЛЫҚ ИНТЕГРАЦИЯНЫҢ ОҚЫТУ САПАСЫНА ӘСЕРІ	135
<i>Білал Ш.</i>	ИНФОРМАТИКАДАҒЫ ЖАҢА ҰЛТТЫҚ АТАУЛАР ЖӘНЕ ТЕОРИЯНЫҢ КЕЙБІР МӘСЕЛЕЛЕРІ	141
<i>Кенжебек Е.Ғ., Иманкулов Т.С., Ахмед-Заки Д.Ж.</i>	ПУАССОН ТЕНДЕУІН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ (MPI+OPENMP) ПАРАЛЛЕЛЬДІ АЛГОРИТМ ҚҰРУ (Abstracts)	150
<i>Мустафин М.Б., Иманкулов Т.С., Дарибаев Б.С., Ахмед-Заки Д.Ж.</i>	ПУАССОН ТЕНДЕУІН ШЕШІГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ (MPI+CUDA) ПАРАЛЛЕЛЬДІ АЛГОРИТМ ҚҰРУ (Abstracts)	151
<i>Шарипбай А.А., Ниязова Р.С., Кузенбаев Б.А.</i>	БҰЛДЫР ЛОГИКА НЕГІЗІНДЕ ЭКСПЕРТТІК ЖҮЙЕНІ МАМДАНИ АЛГОРИТМІМЕН МОДЕЛЬДЕУ	152
<i>Ахмедов Д.Ш., Елубаев С.А., Бопеев Т.М., Сухенко А.С.</i>	ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА	157

3 – Academic portal of the EKSTU in D. Serikbayev East Kazakhstan state university <http://www.do.ektu.kz/doektu/Default.aspx?lang=en>.

4 – UNIVER system in Al-Farabi Kazakh National University <http://univer.kaznu.kz/user/login>.

5 – KSU portal in Kostanay state university A. Baitursynov <http://www.edu.kz/ru/portal/>.

Таблица 3 – ЖОО оқу үрдісін АБЖ сапасын бағалаудың нәтижелері.

ID	Functionality	Fuzzy
1	61.82	78.4
2	47.8	54
3	74.4	82.3
4	76.5	72.3
5	56.2	75.4

Сарытаманың нәтижесінде біз төмен нәтижелерге ие болдық. Мұндай нәтижелер Қазақстандық білім жүйесінің төмен сапасын меңзейді. Сапаны жақсарту үшін оқу мекемелеріне сапа менеджмент жүйесін қайта қарау керек. Сондай-ақ, оқу жүйесін басқарудың жаңа жүйелерін құрастыру керек.

Әдебиеттер:

1. Software quality — capability of software product to satisfy stated and implied needs when used under specified conditions: ISO/IEC 25000:2014(en) Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Measurement (SQuaRE) — Guide to SQuaRE
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению

**ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА**

Ахмедов Д.Ш., Елубаев С.А., Бопеев Т.М., Сухенко А.С.

Институт космической техники и технологий, Республика Казахстан

Аннотация. В данной статье рассматривается программно-математическое обеспечение разрабатываемого на данный момент в Институте космической техники и технологий мобильного лабораторного стенда, предназначенного для оперативного тестирования бортового

программного обеспечения звездного датчика. Подробно приведена структура программно-математического обеспечения, описаны его функции и взаимодействие между программными модулями, математические модели и алгоритмы, положенные в основу программных модулей.

Введение

Одним из ключевых моментов в области разработки звездных датчиков (ЗД) является тестирование их бортового программного обеспечения, которое производится с помощью различных средств тестирования: испытательного оборудования, стендов и имитаторов.

Разработкой испытательного оборудования для звездных датчиков занимаются в основном компании, производящие звездные датчики: SSTL (Великобритания), Jena-Optronik (Германия), ИКИ РАН (Россия) [1]. На текущий момент в Казахстане в рамках республиканской бюджетной программы 008 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности» специалистами Института космической техники и технологий также ведутся работы по созданию звездного датчика для космических аппаратов и лабораторного стенда для тестирования бортового программного обеспечения звездного датчика.

В данной статье будет подробно рассмотрен лабораторный стенд и его программно-математическое обеспечение.

1. Лабораторный стенд звездного датчика

Лабораторный стенд звездного датчика состоит из следующих основных компонентов [2]:

- оптическая часть, представляющая собой оптическую систему коллиматора лабораторного стенда звездного датчика;
- механическая часть, включающая корпус объектива коллиматора, устройство вывода изображения имитатора звездного неба и сам корпус лабораторного стенда;
- программно-математическое обеспечение, представляющее собой программное обеспечение имитатора звездного неба и системы управления лабораторного стенда.

Имитатор звездного неба лабораторного стенда звездного датчика моделирует движение КА относительно звездного неба, формирует изображение текущего участка звездного неба, угловой размер которого соответствует угловому полю зрения звездного датчика КА, и отображает его в устройстве вывода изображения. В качестве устройства вывода изображения стенда используется 5-ти дюймовый монитор, на который выводится изображение звездного неба с помощью системы управления стенда.

Устройство вывода
имитатора звездного



Коллима
формирования
изображения
объектив звезд
сферы. Колли
объектива, об
изображении
монитора им

Корпус
тракт лаборат
и внутренних
Система
предназначен
звездного дат

2. Про

звездного да
При пр
звездного д
моделирован
модели ис
моделирован
(Software En

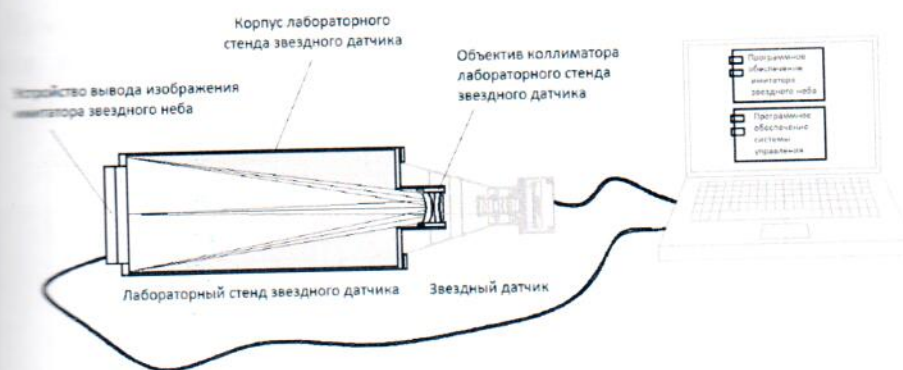


Рисунок 1 – Лабораторный стенд звездного датчика

Коллиматор лабораторного стенда звездного датчика предназначен для формирования параллельного светового пучка от каждого точечного объекта изображения текущего участка звездного неба, который затем приходит на объектив звездного датчика, как и в случае работы по звездам реальной небесной сферы. Коллиматор лабораторного стенда изготовлен в виде четырехлинзового объектива, обеспечивающего требуемый уровень концентрации энергии в изображении звезды в обратном ходе на площади одного пикселя экрана монитора имитатора звездного неба.

Корпус лабораторного стенда звездного датчика защищает оптический тракт лабораторного стенда звездного датчика от постороннего внешнего света и внутренних бликов.

Система управления лабораторного стенда звездного датчика предназначена для оценки погрешности определения ориентации тестируемого звездного датчика и управления работой лабораторного стенда.

2. Проектирование программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика

При проектировании программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика используется методология объектно-ориентированного моделирования. В качестве основного средства визуального представления модели использованы графические нотации унифицированного языка моделирования UML, рекомендованного международным стандартом PSS-05 (Software Engineering Standards of the European Space Agency).

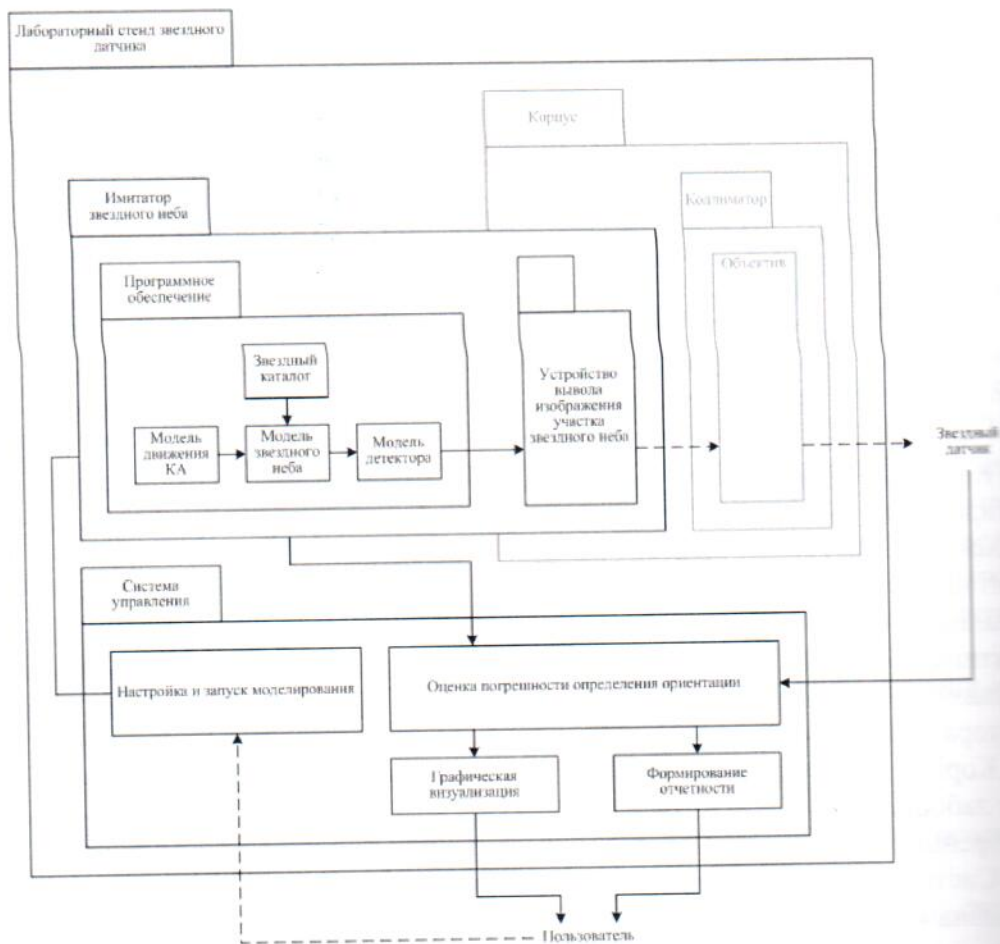


Рисунок 2 – Структура программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика

Комплекс задач, который выполняет лабораторный стенд звездного датчика и его программное обеспечение, представлен в виде диаграммы прецедентов в нотации UML (рисунок 3).

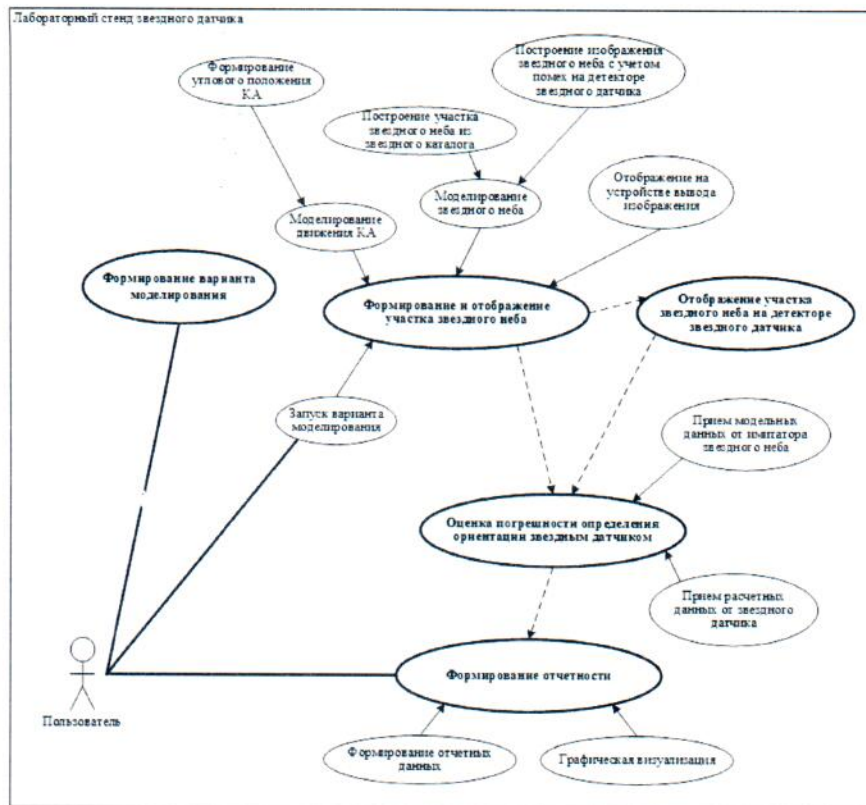


Рисунок 3 – Диаграмма прецедентов программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика

Основными функциями программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика являются:

- формирование варианта моделирования;
- запуск выбранного варианта моделирования;
- формирование и отображение участка неба, которое включает моделирование движения КА, моделирование звездного неба, построение участка звездного неба из звездного каталога, построение изображения участка звездного неба с учетом помех детектора звездного датчика, передача модельных данных;
- оценка погрешности определения ориентации звездным датчиком, которая включает в себя прием модельных данных от имитатора звездного неба и расчетных данных от звездного датчика, а также оценку погрешности определения;

- формирование отчетности, которое включает графическую визуализацию модельных и расчетных данных, а также формирование отчетной документации с экспортом в MS Office.

Взаимодействие пользователя и программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика в рамках реализации прецедентов представлены в виде диаграммы деятельности UML.

Формирование варианта моделирования. Пользователь с помощью системы управления лабораторного стенда звездного датчика формирует различные варианты моделирования путем задания параметров модели движения космического аппарата, параметров модели звездного неба, параметров моделируемых помех детектора звездного датчика (рисунок 4).

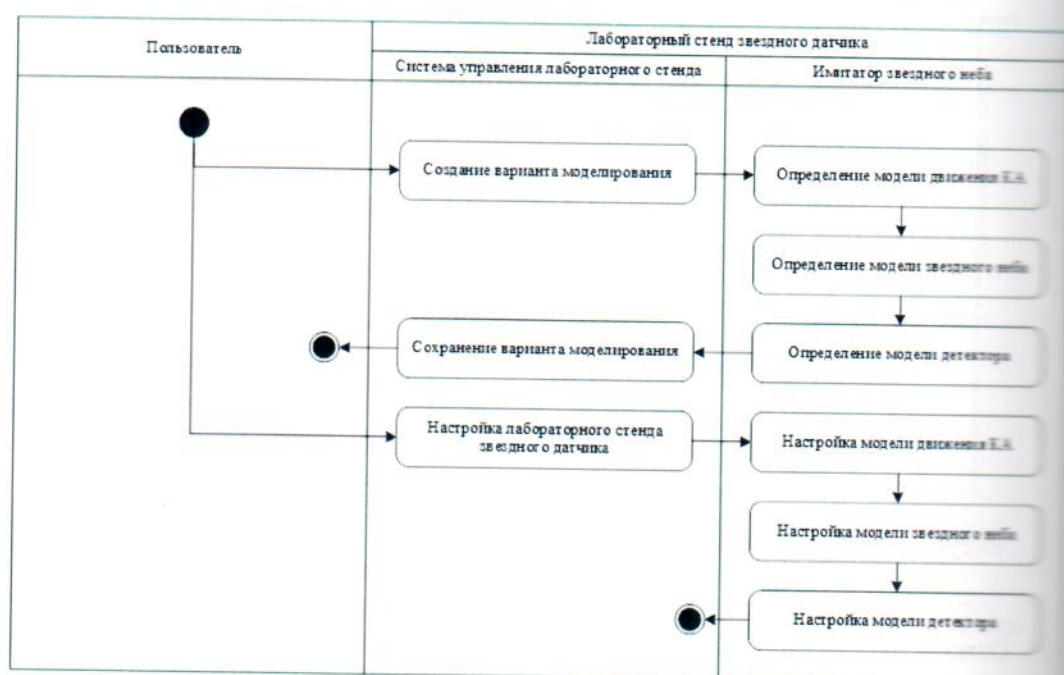


Рисунок 4 – Диаграмма деятельности «Формирование варианта моделирования»

Формирование и отображение участка звездного неба. После запуска пользователем выбранного варианта моделирования система управления запускает процесс формирования и отображения изображения участка звездного неба, который включает в себя моделирование движения КА, построение текущего участка звездного неба, оценку погрешности определения ориентации ЗД (рисунок 5).



Рисунок 5

Имитатор
 космического
 звездного ката
 движения ко
 звездного не
 Изготавлива
 устройстве вы
 датчика фор
 изображения
 моделируемого

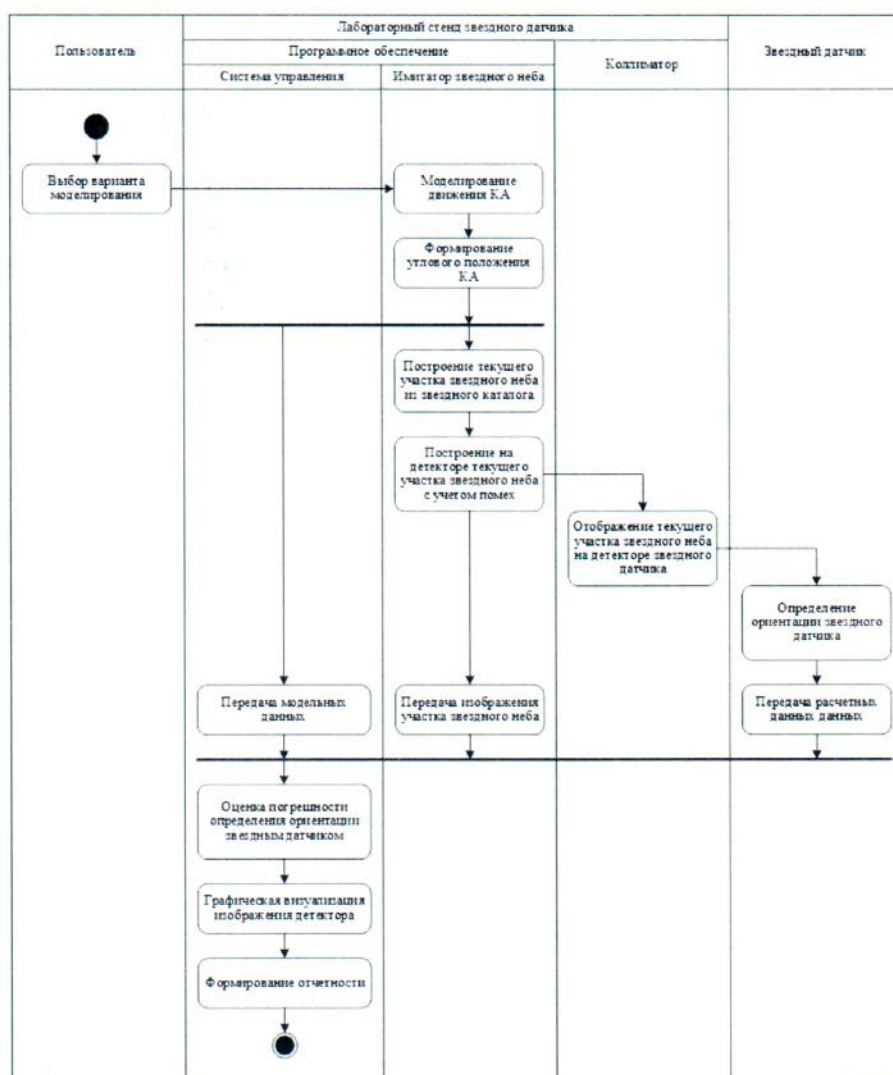


Рисунок 5 – Диаграмма деятельности «Формирование и отображение участка звездного неба»

Имитатор звездного неба производит моделирование движения космического аппарата по заданным начальным условиям движения, строит из звездного каталога участок звездного неба в зависимости от текущего углового положения космического аппарата. Формирует изображение текущего участка звездного неба с учетом задаваемых помех детектора звездного неба. Воспроизводит построенное изображение текущего участка звездного неба на устройстве вывода изображения. Коллиматор лабораторного стенда звездного датчика формирует параллельный пучок света от устройства вывода изображения и проецирует изображение участка звездного неба на детекторе тестируемого звездного датчика. Система управления лабораторного стенда

получает модельные данные от имитатора звездного неба и расчетные данные от тестируемого звездного датчика, производит оценку погрешности определения ориентации тестируемым звездным датчиком. Далее система управления может воспроизвести пользователю весь процесс в графическом и табличном виде.

Информационная модель программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика представлена в виде диаграммы классов в нотации UML (рисунок 6).

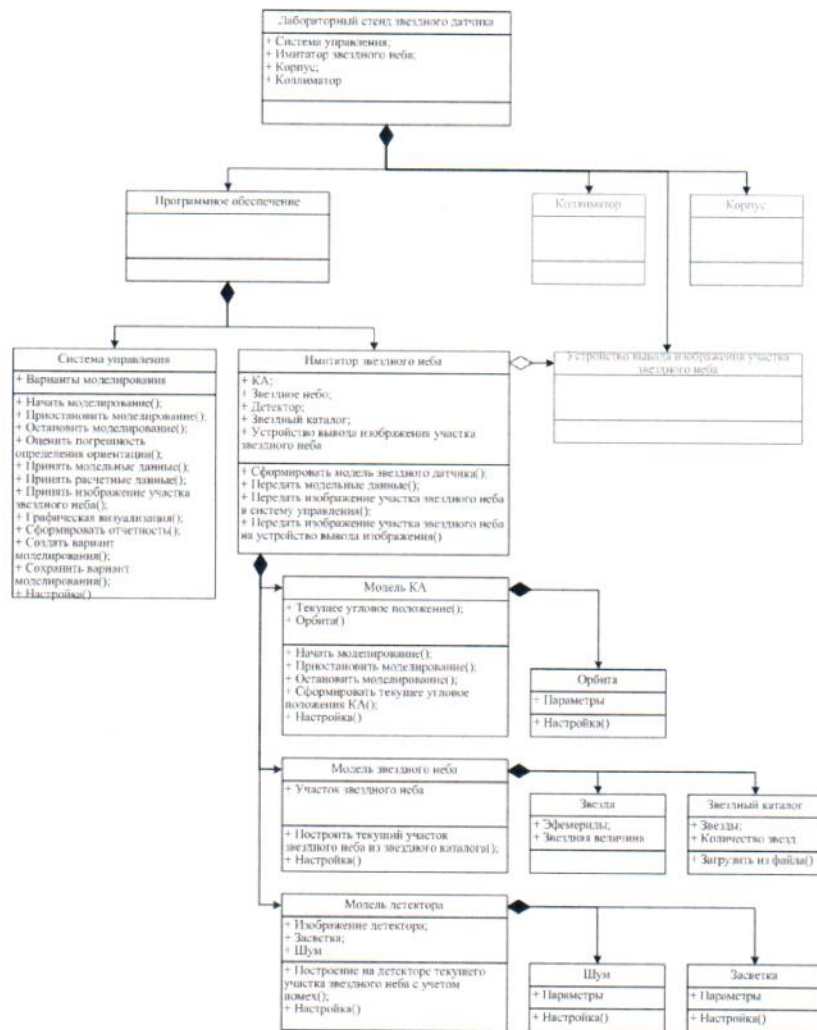


Рисунок 6 – Информационная модель программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика

3. Основные
стенда звездного
Моделирова
путем интегриров
определено поло
 $\vec{Q} = [q_0, q_1, q_2, q_3]$
Для описани
OXYZ- непо
которой находит
экваториальной п
OZ совпадает с ос
ось OY дополняет
Sxyz- подв
находится в цен
координат совпад
Дифференци

x, y, z - коор
 μ - гравита
Дифференци
виде [3]:

3. Основные компоненты программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика

Моделирование движения КА. Моделирование движения КА производится путем интегрирования уравнений движения КА. В результате чего может быть определено положение центра масс КА $\vec{r} = [x, y, z]$ и угловое положение КА $\vec{q} = [q_0, q_1, q_2, q_3]$ в каждый момент времени.

Для описания движения КА используются две системы координат: $OXYZ$ - неподвижная инерциальная система координат (ИСК), начало которой находится в центре масс Земли (точка O), ось OX лежит в экваториальной плоскости и направлена в точку весеннего равноденствия, ось OZ совпадает с осью вращения Земли и направлена на северный полюс Земли, ось OY дополняет систему до правой;

$Sxyz$ - подвижная связанная система координат (ССК), начало которой находится в центре масс микроспутника (точка C), оси данной системы координат совпадают с главными центральными осями инерции микроспутника.

Дифференциальные уравнения движения центра масс КА имеют вид:

$$\ddot{x} = -\mu \frac{x}{(\sqrt{x^2+y^2+z^2})^3}, \quad (1)$$

$$\ddot{y} = -\mu \frac{y}{(\sqrt{x^2+y^2+z^2})^3}, \quad (2)$$

$$\ddot{z} = -\mu \frac{z}{(\sqrt{x^2+y^2+z^2})^3}. \quad (3)$$

где

x, y, z - координаты КА в ИСК;

μ - гравитационная постоянная.

Дифференциальные уравнения вращательного движения КА задаются в виде [3]:

$$J_1 \dot{\omega}_1 + (J_3 - J_2) \omega_2 \omega_3 = M_1 \quad (4)$$

$$J_2 \dot{\omega}_2 + (J_1 - J_3) \omega_1 \omega_3 = M_2, \quad (5)$$

$$J_3 \dot{\omega}_3 + (J_2 - J_1) \omega_1 \omega_2 = M_3 \quad (6)$$

$$\dot{q}_0 = \frac{1}{2} (-\omega_1 q_1 - \omega_2 q_2 - \omega_3 q_3), \quad (7)$$

$$\dot{q}_1 = \frac{1}{2} (\omega_1 q_0 + \omega_3 q_2 - \omega_2 q_3), \quad (8)$$

$$\dot{q}_2 = \frac{1}{2}(\omega_2 q_0 + \omega_1 q_3 - \omega_3 q_1), \quad (9)$$

$$\dot{q}_3 = \frac{1}{2}(\omega_3 q_0 + \omega_2 q_2 - \omega_1 q_2). \quad (10)$$

где

J_1, J_2, J_3 - моменты инерции КА;

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ - угловые скорости КА;

q_0, q_1, q_2, q_3 - компоненты кватерниона \vec{Q} , описывающего угловое положение КА относительно ИСК;

M_1, M_2, M_3 - моменты сил, действующих на КА.

Связь между ИСК и ССК при этом определяется посредством матрицы:

$$R = \begin{bmatrix} 1 - 2q_2^2 - 2q_3^2 & 2q_1q_2 - 2q_3q_0 & 2q_1q_3 + 2q_2q_0 \\ 2q_1q_2 + 2q_3q_0 & 1 - 2q_1^2 - 2q_3^2 & 2q_1q_2 - 2q_3q_0 \\ 2q_1q_3 - 2q_2q_0 & 2q_1q_2 + 2q_3q_0 & 1 - 2q_1^2 - 2q_3^2 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Программное обеспечение моделирования движения КА получает в качестве входных данных начальное положение и скорость центра масс КА, начальное угловое положение и угловую скорость КА и производит интегрирование уравнений (1) - (10).

Построение изображения текущего участка звездного неба.

Программное обеспечение построения изображения текущего участка звездного неба получает в качестве входных данных текущее угловое положение и положение центра масс КА и производит построение соответствующего ему изображения звездного неба. Для построения изображения звездного неба в программном обеспечении имитатора звездного неба использован звездный каталог Hipparcos с числом звезд 118 218 и предельной звездной величиной m_V .

Звездный каталог представляет собой текстовый файл, содержащий информацию о звездах – прямое восхождение, склонение и звездную величину. Прямое восхождение - это угол положения объекта в плоскости небесного экватора, отсчитываемый от точки Весеннего равноденствия. Склонение - это угол от плоскости небесного экватора до объекта. Звездная величина - это безразмерная величина, характеризующая яркость звезды.

Для отображения звезд на плоскости детектора звездного датчика необходимо провести их проецирование на плоскость детектора. Для отображения звездного неба используется перспективная проекция, при которой каждая точка трехмерного изображения проецируется вдоль прямой, соединяющей саму точку и точку расположения наблюдателя. Угол зрения вдоль осей X и Y задается как отношение сторон области вывода (рисунок 7) [4].

Для формирования очередного изображения используется текущее положение и направление оптической оси камеры наблюдателя. В нашем случае камерой наблюдателя является звездный датчик. Перед воспроизведением

звездного неба, текущему положению инерциальной системы координат векторов \vec{e}_1 и \vec{e}_2 определяется вектор \vec{e}_2 определяется вычисляется на

Краткий обзор звездного неба может быть

1. Из звездного неба выбирается

2. Запомнить координаты звезд

3. Система координат звездного неба

4. Система координат звездного неба

5. Восстановление звездного неба

Для задания звездного неба

приближенный звездный каталог, представляющий звездный каталог детектора

Оценка параметров звездного неба

вывода изображения звездного неба

программное обеспечение

вычислительной ориентации

на основе текущего

(9) звездного неба, камера наблюдателя помещается в точку, соответствующую
 текущему положению КА. Ориентация камеры наблюдателя относительно
 инерциальной системы координат задается с помощью двух единичных
 (10) векторов \vec{e}_1 и \vec{e}_2 . Вектор \vec{e}_1 определяет направление оптической оси камеры,
 вектор \vec{e}_2 определяет поворот камеры вокруг вектора \vec{e}_1 . Используя матрицу (4),
 вычисляется направление оптической оси камеры наблюдателя в ИСК.

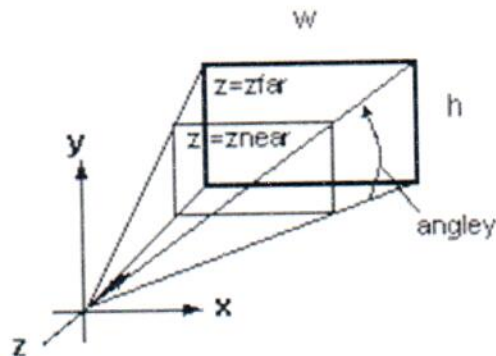


Рисунок 7 – Перспективная проекция

Краткий алгоритм построения изображения текущего участка звездного неба может быть сформулирован следующим образом:

1. Из звездного каталога считываются прямое восхождение и склонение каждой звезды.
2. Запоминается текущее положение наблюдателя и направление оптической оси.
3. Система координат поворачивается вокруг оси Y на угол прямого восхождения и вокруг оси X на угол склонения.
4. Система координат перемещается вдоль оси Z на достаточно большое расстояние, и изображается точка белого цвета с диаметром, пропорциональным звездной величине.
5. Восстанавливается начальное положение наблюдателя и изображается следующая звезда.

Для задания условий тестирования программного обеспечения ЗД, приближенных к реальным, используется отображение дополнительных точек в кадре, представляющих ложные звезды, а также помех, соответствующих помехам детектора ЗД.

Оценка погрешности определения ориентации звездного датчика. После вывода изображения звездного неба на детектор звездного датчика его бортовое программное обеспечение производит считывание изображения и определение расчетной ориентации звездного датчика в виде кватерниона $\vec{Q}_p = [q_0, q_1, q_2, q_3]$ на основе текущего расположения звезд в кадре. Далее расчетная ориентация

поступает в программное обеспечение системы управления, которая производит оценку погрешности определения ориентации звездным датчиком путем вычисления разницы между расчетной ориентацией звездного датчика и его модельной ориентацией $\vec{Q} = [q_0, q_1, q_2, q_3]$, поступающей из программного обеспечения имитатора звездного неба:

$$\vec{Q} = \vec{Q}_p^{-1} \otimes \vec{Q}, \quad (12)$$

где

\vec{Q}_p^{-1} - кватернион, обратный к \vec{Q}_p .

4. Интерфейс программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика

При запуске программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика появляется главное окно, на котором отображено текущее изображение звездного неба и изображение звездного неба, видимое на детекторе звездного датчика с учетом помех (рисунок 8).

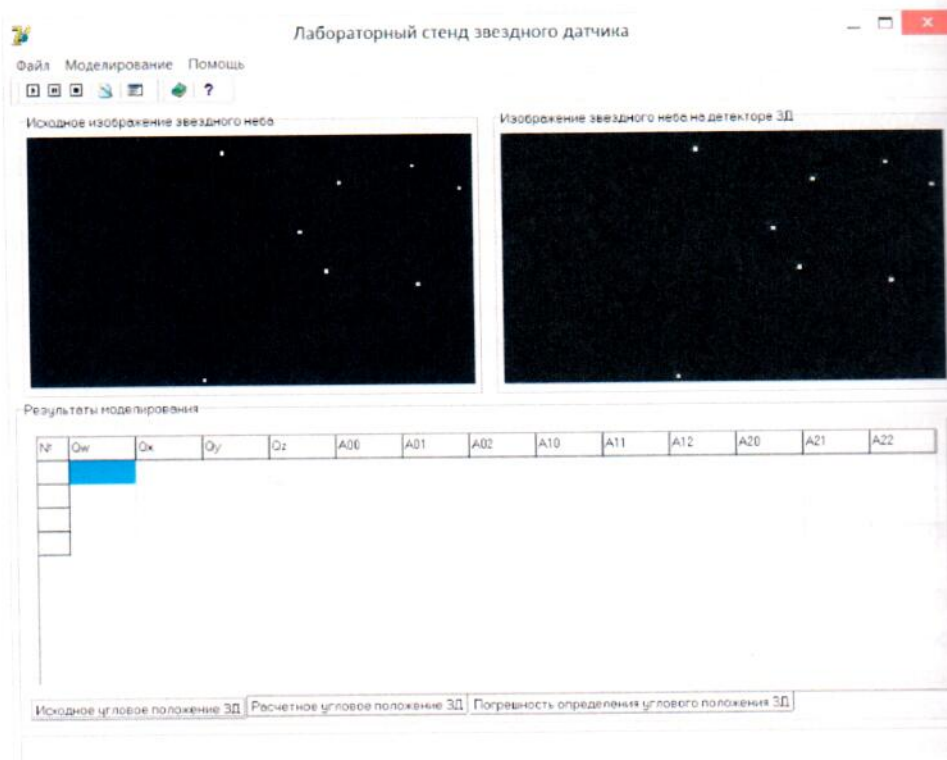


Рисунок 8 – Главное окно программного обеспечения лабораторного стенда звездного датчика

Перед нач
начальные усло
«Моделирование
При нажат
изображения зве
котором динам
тингаж, рыскани
(рисунок 9).

Расчет
которое опр
динамическ
«Расчетное
вычисляемо
вкладке «

Перед началом моделирования движения КА необходимо ввести начальные условия движения и выбрать моделируемые помехи в меню «Моделирование» программного обеспечения.

При нажатии на кнопку «Пуск» запускается процесс формирования изображения звездного неба и появляется окно имитатора звездного неба, на котором динамически отображается текущее угловое положение КА (крен, тангаж, рыскание) и соответствующее ему изображение участка звездного неба (рисунок 9).

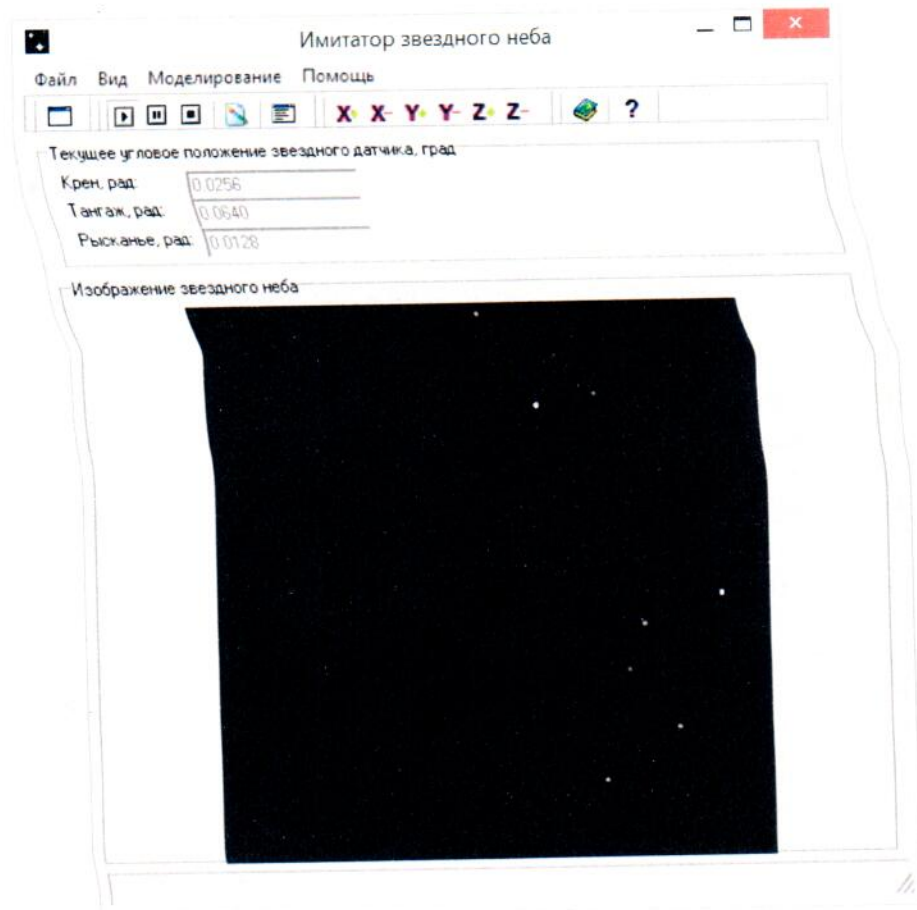


Рисунок 9 – Окно имитатора звездного неба

Расчетное угловое положение звездного датчика в виде кватерниона, которое определяется им на основе текущего изображения звездного неба, динамически отображается в главном окне в табличном виде на вкладке «Расчетное угловое положение ЗД». Угловое положение звездного датчика, вычисляемое в имитаторе звездного неба, выводится в табличном виде на вкладке «Исходное угловое положение ЗД». Погрешность определения

ориентации звездного датчика отображается на вкладке «Погрешность определения углового положения ЗД».

Используя данные с вкладки «Погрешность определения углового положения ЗД», пользователь может провести оценку погрешности работы бортового программного обеспечения звездного датчика по определению его углового положения.

Заключение

В статье рассмотрено программно-математическое обеспечение мобильного лабораторного стенда, предназначенного для оперативного тестирования бортового программного обеспечения звездного датчика. В первом разделе приведено описание лабораторного стенда и его основных компонентов. Второй раздел посвящен проектированию программно-математического обеспечения лабораторного стенда. В третьем разделе рассмотрены математические модели и алгоритмы, положенные в основу программных компонентов. Четвертый раздел посвящен описанию интерфейса программно-математического обеспечения лабораторного стенда звездного датчика.

Литература

1. Аванесов Г.А., Воронков С.В., Дунаев Б.С., Красиков В.А., Шамаев В.А., Форми А.А. Имитаторы звездного неба для наземной отработки датчиков звездной ориентации // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов». - Таруса, 2008. - С. 373 - 386.
2. Ахмедов Д.Ш., Елубаев С.А., Алимбаев К.А., Бопеев Т.М., Сухенко А.С. Мобильный лабораторный стенд для тестирования казахстанского звездного датчика // 16-я Украинская конференция по космическим исследованиям. - Одесса, 2016 - С. 153.
3. Разработать программно-математическое обеспечение экспериментального образца бортового комплекса управления наноспутника: отчет о НИР (промежуточный) / НЦ НТИ: рук. Молдабеков М.М.; исполн. Инчин А.С. - Алматы, 2015. - 303 с. - № ГР 0115РК01327. - Инв. № 0215РК0171.
4. OpenGL. Официальный справочник. Пер. с англ./Под ред. Дейва Шрейндера. СПб: ООО «ДиаСофтЮП», 2002. - 512 с.