

А. А. Алексеев – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Я. Мамаев (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ АСТРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

При движении спутника по орбите, для его ориентации могут быть использованы следующие способы: ориентация по Солнцу, по Земле, по магнитному полю Земли, по звездам. Последнюю задачу выполняют так называемые звездные датчики. Принцип работы датчика описывается следующим образом. Свет от звезд, проходя через оптическую систему, проецируется на фоточувствительную матрицу. Данные с матрицы проходят аналого-цифровое преобразование и поступают для обработки в вычислительный блок прибора. Задачей программной составляющей прибора является анализ последовательности кадров звездного неба для выделения на фоне помех звезд и их дальнейший поиск в бортовом каталоге. После нахождения звезд в бортовом каталоге система выдает положение КА в системе координат, связанной с Землей. В работе рассматривается моделирование работы подобной астронавигационной системы.

Моделирование системы можно разделить на несколько этапов:

- 1) моделирование видимого изображения звездного неба;
- 2) обработка изображения, распознавание звездных участков и сравнение с бортовым каталогом;
- 3) вычисление местоположения объекта и его ориентации в пространстве.

По значениям параметров светил, взятых из звездного каталога [1], составлена база звезд (до четвертой звездной величины, 56 созвездий из 88) и по её значениям моделируется изображение видимого участка звездного неба. Далее происходит распознавание полученного изображения. Задачей распознавания является выделение среди светящихся точек звезд и их дальнейший поиск по бортовому каталогу. Существуют различные методы распознавания участков неба и алгоритмы поиска звезд в бортовом каталоге [2]. Одни из них относятся к геометрическим алгоритмам, суть которых заключается в том, что группы звезд характеризуются различными свойствами (площадь, периметр и т.д.), составленными из них сферических многоугольников.

Поиск в каталоге групп звезд, зафиксированных в поле зрения прибора, осуществляется, согласно этим характеристикам. Суть графовых алгоритмов заключается в поиске изоморфного подграфа в графе, при наличии погрешности в весах ребер подграфа. Характерной особенностью графовых алгоритмов является то, что в бортовом каталоге хранятся все взаимные угловые расстояния рабочих звезд, попадающих одновременно в поле зрения прибора. В сеточных алгоритмах группа звезд опознается как дискретизированный образ на декартовой системе координат. Среди всех звезд выбирается опорная звезда (pivot star) и ближайшая к ней. Система координат плоскости анализа преобразуется таким образом, что опорная и ближайшая к ней звезды лежат на одной оси координат. В дальнейшем анализируются только звезды, находящиеся в пределах заданного радиуса от опорной звезды. Плоскость анализа делится на квадратные сегменты. Если на площадь сегмента попадает проекция светящейся точки, то соответствующее сегменту значение принимается равным 1, и 0 – в противном случае. Дальнейший анализ состоит в побитовом сравнении полученного образа с образами, хранящимися в базе данных. Изображение представляется в виде массива значений в каждом пикселе. Вычисляются центры масс тех участков, где значения отличны от порогового значения, которое определяет фон. Из полученных данных на предыдущем шаге выбираются три звезды, которые формируют треугольник. Основываясь на этих данных, происходит определение (вычисление) ориентации.

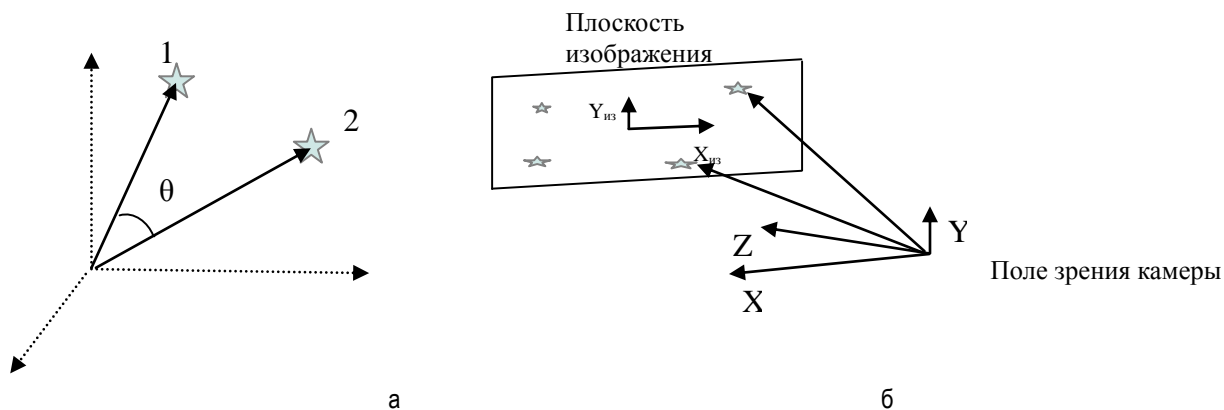


Рис. 2.

- (а) векторно-угловой геометрический метод распознавания звезд;
 (б) системы координат поля зрения камеры и плоскости изображения

На рис. 2,а представлен метод, иллюстрирующий геометрический метод распознавания звезд [3]. Векторно-угловой метод учитывает углы между двумя векторами V_1 и V_2 , V_2 и V_3 , V_1 и V_3 , которые вычисляются для каждого плоского треугольника и сохраняются в таблице сравнений.

Для моделирования и дальнейшего исследования были выбраны геометрический векторно-угловой метод.

Заключительным этапом моделирования является определение ориентации объекта. Для этого необходимо связать плоскость изображения и поле зрения камеры, что представлено на рис. 2,б.

Далее необходимо преобразовать полученные направляющие векторы V_k в системе координат камеры в векторы в геоцентрической инерциальной системе координат. Для этого могут быть использованы алгоритмы Triad и Quest. Суть Triad алгоритма состоит в поиске матрицы A , преобразующей значение координат вектора V_k , полученного на распознанном изображении в вектор геоцентрической системы координат.

$$A = V_k V_{eci}^T \quad (1)$$

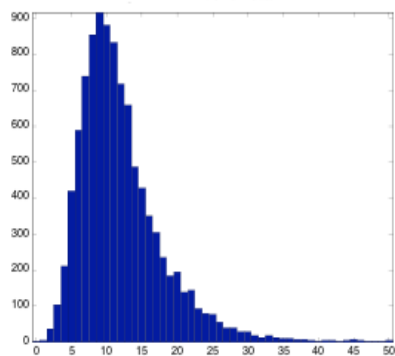
Для Quest алгоритма необходим поиск ортогональной матрицы A_{opt} , которая минимизирует функцию потерь [3]. После ее поиска, выражение для матрицы A , используя кватернион будет выглядеть следующим образом

$$[Q] = \begin{bmatrix} 0 & -q_3 & q_2 \\ q_3 & 0 & -q_1 \\ -q_2 & q_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

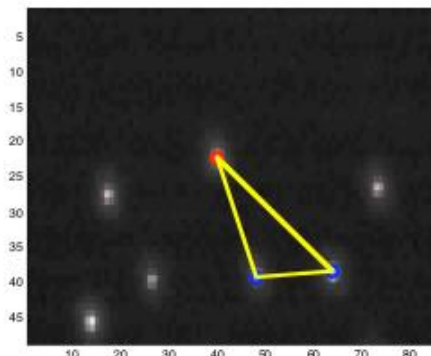
Выражение для A записано для кватерниона, где элементы представлены формулами (3)

$$\begin{aligned} q_1 &= e_1 \sin(\alpha/2), \\ q_2 &= e_2 \sin(\alpha/2), \\ q_3 &= e_3 \sin(\alpha/2), \\ q_4 &= \cos(\alpha/2) \end{aligned} \quad (3)$$

После моделирования были получены следующие результаты



а



б

Рис. 3

а) показатель количества звезд попадающих в поле зрения камеры при поле зрения равным 8° ;
б) распознанный участок звездного неба

Было произведено моделирование и исследование модели астронавигационной системы, расположенной на спутнике; применен геометрический метод идентификации звездных конфигураций, а так же рассмотрен TRIAD алгоритм. При исследовании было показано, что поле зрения является достаточно эффективным при значении 8° . Полученная модель астронавигационной системы может быть использована в лабораторном стенде для исследования её принципов работы и используемых в ней алгоритмов.

Библиографический список

1. Hipparcos Catalogue <ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/I%2F311>
2. Кружилов И.С. Методы и программные средства повышения эффективности распознавания групп звезд в автономной астронавигации: Автореф. дис. к-та технических наук: 05.13.11/ Моск. энерг. ин-т (Техн. ун-т). М., 2010. 22 с.
3. Kenneth Daniel Diaz, Performance analysis of a fixed point star tracker algorithm for use onboard of a pico satellite. Master thesis, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, August 2006.