

Рис. 3. Верное распознавание объекта

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате был разработан алгоритм распознавания питомца на видеопоследовательности, основанный на применении метода выделения объектов на основе признаков Хаара и с помощью алгоритма CAMShift реализовано отслеживание питомца в режиме реального времени.

Литература

1. Симаков В.С., Луценко Е.В. Адаптивное управление сложными системами на основе распознавания образов /. – Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. – 318 с.
2. Brunelli, R. Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice [Text] / R. Brunelli. – Wiley, 2009. – 346 p.
3. Viola, P. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [Text] / P. Viola, M. Jones // Computer Vision and Pattern Recognition. – Columbus, 2001. – pp. 511–518.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОМЕТРА СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А. С. Гончарик

Разработка модели магнитного поля Земли и модели магнитометра актуальны для решения задач определения ориентации сверхмалого космического аппарата (СМКА) и его управления. Магнитометры совместно с солнечными датчиками для сверхмалого космического аппарата являются основными датчиками для определения ориентации в детерминированных и стохастических алгоритмах. Кроме того, работоспособность алгоритмов стабилизации и наведения космических аппаратов на цель полностью зависит от точности измерения магнитометра.

Существуют различные модели геомагнитного поля: модели прямого и наклонного диполей; International Geomagnetic Reference Field (IGRF); World Magnetic Model (WMM). В зависимости от точности решаемой задачи ориентации космического аппарата или управления и вычислительного ресурса бортового компьютера выбирается та или иная модель. В данной работе рассматриваются модель прямого диполя и модель IGRF.

Модель прямого диполя – симметричная модель геомагнитного поля, которая полностью пренебрегает компонентами по долготе магнитного поля, и где так же не учитывается, что магнитные полюса смещены относительно географических. Проекция вектора магнитной индукции \vec{B} на оси орбитальной системы координат в дипольной модели рассчитываются в соответствии с формулой (1):

$$\vec{B} = \frac{\mu\sqrt{1+3\sin^2 i}}{r^3} \begin{bmatrix} -2\sin i \sin u \\ \sin i \cos u \\ \cos i \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\mu = 7,812 \cdot 10^{22}$ Тл·км³ – магнитный момент магнитного поля Земли, r – радиус орбиты космического аппарата, i – наклонение орбиты, u – аргумент широты.

Модель IGRF, которая рассчитывается каждые пять лет Международной ассоциацией геомагнетизма и аэронавтики (IAGA), по сути является набором гауссовских коэффициентов g_n^m и h_n^m , которые могут быть использованы для аппроксимации магнитного поля Земли. Так как магнитное поле Земли со временем изменяется, поэтому IGRF включает в себя коэффициенты так называемого векового возмущения. Таким образом, в течение пяти лет после самой последней рассчитанной эпохи эти коэффициенты могут использоваться для прямой линейной экстраполяции.

В данной работе используется IGRF-12. Данное поколение является самым последним вариантом модели IGRF и включает в себя гауссовы коэффициенты 2015 – 2020 года и коэффициенты векового возмущения.

Эта модель описывает геомагнитное поле Земли намного точнее, чем модель прямого диполя.

В основном уравнении IGRF вектор магнитной индукции \vec{B} представляет собой отрицательный градиент скалярной потенциальной функции V , моделируемой сферическими гармониками:

$$\begin{aligned} \vec{B} &= -\nabla V(R, \theta, \lambda) = \\ &= \nabla \left\{ R \sum_{n=1}^k \left(\frac{R}{r} \right)^{n+1} \sum_{m=0}^n \left(g_n^m \cos(m\lambda) + h_n^m \sin(m\lambda) \right) P_n^m(\theta) \right\}, \quad (2) \end{aligned}$$

где, $R = 6371,2$ км – радиус Земли, r – длина радиуса-вектора космического аппарата, провелеванного из центра Земли, θ – угол между этим радиусом-вектором и осью вращения Земли (дополнение широты), λ – географическая долгота точки, $P_n^m(\theta)$ – нормированные полиномы Лежандра.

Из формулы (2) можно видеть, что магнитное поле Земли зависит от длины радиуса-вектора r , дополнения широты θ и долготы λ . Таким образом, взятие градиентов от $V(R, \theta, \lambda)$ дает компоненты векторов геомагнитного поля в сферических координатах геоцентрической инерциальной системе координат.

Для создания модели магнитометра необходимо построить адекватную модель движения центра масс космического аппарата и сравнить ее с существующими моделями прогнозирования движения космического аппарата. В качестве модели орбитального движения выбрана упрощенная модель возмущения, которая учитывает несимметричность гравитационного потенциала Земли через вторую зональную гармонику и силы сопротивления атмосферы. Входными данными для модели являются орбитальные данные в формате TLE системы NORAD. Точность модели орбитального движения в случае, если время моделирования отличается от времени эпохи TLE менее чем на одни сутки, имеет порядок одного километра. Была разработана программная реализация модели магнитометра, которая включала в себя два основных блока: блок определения орбитальных параметров космического аппарата в заданный момент времени на интервале моделирования; блок определения вектора магнитной индукции модельного магнитного поля Земли в заданных точках орбиты в геоцентрических, орбитальных и географических координатах.

Входными данными программного модуля являлись данные орбиты космического аппарата в формате TLE, данные параметров дипольной и IGRF моделей магнитного поля Земли, интервал моделирования, данные проекций магнитного поля Земли в связанной системе координат, полученные из телеметрии космического аппарата.

Выходными данными программного модуля являются: проекции вектора магнитной индукции в орбитальной, географической и геоцентрической инерциальной системах координат для моделей магнитного поля Земли, проекции вектора магнитной индукции в связанной системе координат (по данным магнитометров космического аппарата), ошибки магнитометров по определению магнитной индукции в заданных точках орбиты в сравнении с модельными значениями магнитной индукции.

Сначала проводилась верификация разработанных моделей на основе данных двух магнитометров белорусского космического аппарата (БКА), полученных в течение интервала времени (суток). Две модели дают хо-

рошее совпадение результатов в узловых точках измерения магнитного поля Земли, что приблизительно соответствует времени, равному периоду обращения космического аппарата по орбите вокруг Земли. Можно предположить, что на каждом витке происходит калибровка данных магнитометров относительно точных данных геомагнитного поля.

Вторая поставленная задача заключалась в том, чтобы обработать телеметрические данные СМКА Grifex, у которого на борту имеется постоянный магнит для пассивной стабилизации космического аппарата относительно магнитного поля Земли и четыре магнитометра, которые решают задачу совместного определения магнитной индукции в данной точке орбиты с учетом смещения показаний из-за наличия постоянной составляющей магнитного поля магнита, наличия в контуре СМКА токов, а также собственного магнитного момента космического аппарата. Оценивались показания только одного магнитометра относительно значений магнитного поля Земли. Данные телеметрии брались за сутки пролета. Из рис. 1 видно, что значение магнитометра, расположенного на панели X- (X- – ось связанной системы координат), смещены относительно модельных значений модуля магнитной индукции на постоянную составляющую и имеют отличный от изменения магнитного поля моделей скорость изменения во времени.

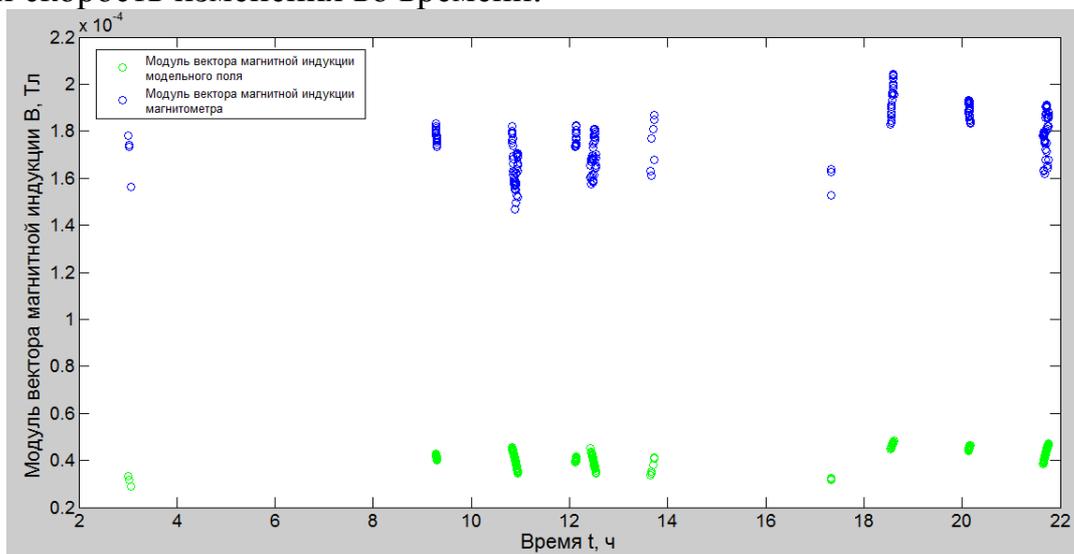


Рис. 1. Модуль вектора магнитной индукции магнитометра и модельного магнитного поля в расчетных точках орбиты данных телеметрии СМКА Grifex

В программном модуле проводилась коррекция постоянной составляющей магнитного поля магнитометра, как показано на рис. 2. При этом ошибка данных магнитометра по отношению к модельным данным уменьшилась приблизительно в 8-10 раз во всех точках орбиты.

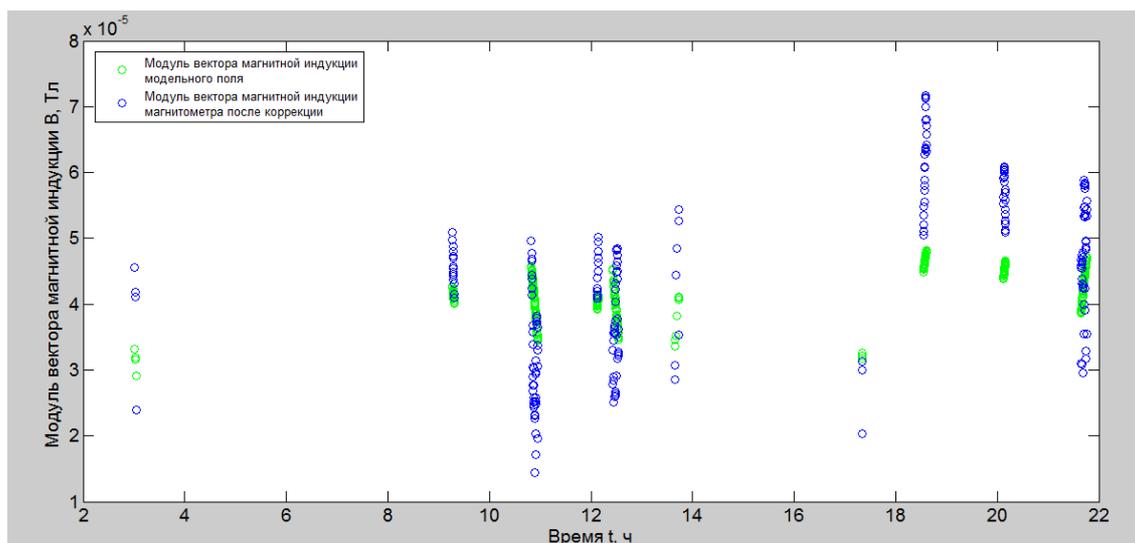


Рис. 2. Результаты коррекции данных модуля вектора магнитной индукции магнитометра по отношению к модельному магнитному полю в расчетных точках орбиты данных телеметрии СМКА Grifex

Дальнейшая обработка предполагает калибровку данных датчиков космического аппарата Grifex.

Разработанная модель магнитометра позволит повысить точность определения ориентации и углового положения на орбите сверхмалого космического аппарата, а так же улучшить работу алгоритмов управления СМКА.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИИ МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А. А. Дубовик

Телеметрия малого космического аппарата (МКА) предназначена для текущего анализа бортовых систем и целевой нагрузки. Ее оперативный анализ позволяет эффективно управлять космическим аппаратом, быстро реагировать на возникновение внештатных ситуаций.

Нынешние средства обработки телеметрии МКА позволяет исследовать параметры только за отдельные сутки. Полученных данных за этот промежуток времени, как правило, не достаточно для достоверного анализа данных. Это усложняет выявление причин отказов в аппаратуре, прогнозирование поведения систем космического аппарата. Следовательно разработка программного обеспечения для обработки и анализа телеметрии является актуальной задачей. Это позволит обеспечить оперативный анализ телеметрической информации с графическим представлением, проверить работоспособность датчиков телеметрии по моделям околоземного пространства, провести полетную калибровку дат-