

УДК 629.786.2:001.891.55

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

С.В. Бронников

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва
Россия, 141070, Королёв Московской области, Ленина ул., 4А
E-mail: sergey.bronnikov@rsce.ru

Д.Ю. Караваев

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва
Россия, 141070, Королёв Московской области, Ленина ул., 4А
E-mail: dmitry.karavaev@rsce.ru

А.С. Рожков

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва
Россия, 141070, Королёв Московской области, Ленина ул., 4А
E-mail: alexander.rozhkov@rsce.ru

Д.Н. Рулев

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва
Россия, 141070, Королёв Московской области, Ленина ул., 4А
E-mail: dmitry.rulev@rsce.ru

Ключевые слова: система локального позиционирования, космическая станция, экипаж, угломерная система, умная полка.

Аннотация: В рамках реализации на российском сегменте (РС) международной космической станции (МКС) космического эксперимента «Визир» выполнено исследование принципов, способов построения и технических характеристик систем локального позиционирования (СЛП), на базе которых могут быть разработаны устройства поддержки деятельности экипажей космических кораблей и орбитальных космических станций (КС). Исследованы три СЛП: угломерная система, автоматизированное хранилище предметов, система контроля местоположения космонавта. В части угломерных систем разработаны различные варианты портативных угломерных систем для определения положения автономной камеры относительно связанной системы координат КС и технологии их использования для решения различных задач, в частности, при фотосъемке Земной поверхности. Исследованы угломерные системы на базе двух жестко связанных синхронизированных фотокамер; на основе волоконно-оптического гироскопа; на основе датчика угловых скоростей; на основе ультразвуковых датчиков. Обоснован выбор последнего из перечисленных вариантов как наилучшего. Подтверждена принципиальная возможность использования всех трех рассмотренных СЛП в условиях реального космического полета. В процессе выполненных исследований и экспериментального применения рассмотренных СЛП на РС МКС отработаны новые технологии выполнения полетных операций, позволяющие повысить эффективность работы экипажа КС и эффективность решения целевых задач КС в целом.

1. Введение

Рабочее время космонавтов один из самых дорогих ресурсов космической станции (КС). Поэтому вопросы повышения эффективности деятельности экипажа КС являются актуальными. В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности деятельности экипажа путем ее автоматизации за счет технических средств, построенных на основе систем локального позиционирования (СЛП) для поддержки таких видов деятельности, как фотосъемка Земной поверхности, поиск хранящихся на борту предметов. СЛП позволяют повысить эффективность деятельности экипажа за счет повышения производительности его работы, а также обеспечить сбор данных о местонахождении членов экипажа, об использовании полезного объема станции, что позволяет оптимизировать устройство отсеков и компоновку бортового оборудования КС. В рамках реализации на российском сегменте (РС) международной космической станции (МКС) космического эксперимента «Визир» выполнено исследование принципов, способов построения и технических характеристик СЛП, на базе которых могут быть разработаны устройства поддержки деятельности экипажей космических кораблей и станций. Исследованы три СЛП: угломерная система, автоматизированное хранилище предметов, система контроля местоположения космонавта.

2. Угломерная система

Во время полета экипажи выполняют большой объем съемок Земли поверхности. Для обеспечения целевого использования получаемых изображений требуется выполнить их географическую привязку - определить географические координаты каждого пикселя изображения. Наиболее сложным и трудозатратным является первый этап привязки, который выполняет опытный специалист на Земле при обработке изображения. Он должен найти на карте Земной поверхности местонахождение объекта, зафиксированного на бортовом изображении. Далее, на карте и полученном изображении выделяются не менее четырех общих точек и производится расчет географических координат каждого пикселя изображения.

Имеется два способа съемок земной поверхности с борта пилотируемой КС.

Первый способ – камера установлена в кардановом подвесе или на неподвижном (относительно корпуса КС) кронштейне. При наличии кронштейна имеется информация об ориентации связанной системы координат (ССК) камеры относительно ССК КС в момент съемки. На основе данных о положении и ориентации КС в момент съемки вычисляется вектор линии визирования камеры и определяются координаты точки М пересечения оптической оси камеры с Земной поверхностью - долгота и широта центра изображения. С учетом погрешности исходных данных в этом случае предполагаемый район для опознавания специалистом изображения составляет круг с радиусом около 15 км вокруг расчетной точки М.

Второй способ – съемка выполняется свободно перемещаемой камерой (камерой, не имеющей жесткой связи с корпусом КС). Космонавты предпочитают использовать такие камеры, поскольку в этом случае отсутствуют какие-либо кронштейны, загораживающие обзор из иллюминатора и мешающие наведению, в том числе передающие вибрации, при этом производительность съемки существенно выше, чем при съемке с кронштейном. Однако, в этом случае отсутствуют данные об ориентации камеры относительно КС. Поэтому предполагаемый район для опознавания специалистом изображения, например, при высоте орбиты КС 400 км составляет круг с радиусом около 800 км вокруг подспутниковой точки в момент съемки. При этом существенно усложняется задача распознавания, увеличивается трудоемкость привязки изображения и снижается ее оперативность. Более того, некоторые однородные

фотоизображения (лес, море) невозможно привязать, т.е. указать их местоположение даже приблизительно в связи с отсутствием каких-либо ориентиров.

Для получения ориентации камеры относительно КС были разработаны и исследованы четыре варианта угломерных систем на базе различных чувствительных элементов: дополнительная фотокамера, датчики угловой скорости различных моделей, ультразвуковые датчики. Наилучшей по рассмотренных по комплексу показателей (масса, точность, надежность, эргономичность и т.п.) принята ультразвуковая система – аппаратура СКПФ-У (Система Координатной Привязки Фотоизображений Ультразвуковая) (рис. 1), – которая в настоящее время отработана и вводится в штатную эксплуатацию на РС МКС, а также планируется к использованию в составе перспективной КС [1-5]. При отработке СКПФ-У создан ряд технологий, повышающих эффективность процесса получения изображений Земли с участием экипажа КС:

- технология привязки бортовых изображений Земной поверхности;
- технология поддержки наведения камеры на заданный объект съемки;
- технология оптимизация плана съемки группы задаваемых наземных объектов.

Разработанные технологии существенно повышают результативность выполняемых космонавтами съемок (особенно в условиях облачности, ночи, отсутствия видимых ориентиров) и оперативность целевой обработки получаемых снимков.



Рис. 1. Фотокамера с аппаратурой СКПФ-У. Слева: 1 – установленная на фотокамеру платформа с; 2 – ультразвуковые излучатели, размещенные на платформе. Справа: платформа с ультразвуковыми приемниками, устанавливаемая на иллюминатор.

3. Умная полка

Обязательным элементом КС является хранилище или склад. Номенклатура единиц хранения (ЕХ) на КС составляет тысячи элементов. Для идентификации ЕХ на КС используются штриховые коды. Однако, для того, чтобы найти какую-нибудь ЕХ зачастую требуется перебрать большое число ЕХ, что занимает много времени. Для повышения эффективности процесса поиска разработан и исследован на РС МКС макет хранилища – аппаратура СКП-УП (Система Координатной Привязки Умная Полка) – так называемая «умная полка» для хранения лекарственных средств, используемых экипажем РС МКС, на базе RFID технологии [6], содержащая (рис. 2):

- стойку, состоящую из четырех «умных полок», предназначенных для хранения и автоматической идентификации объектов;
- планшетный компьютер, управляющий работой аппаратуры;
- контейнеры с лекарственными средствами, устанавливаемые в «умные полки».



Рис. 2. Космонавт Олег Кононенко размещает контейнер с лекарственными средствами в аппаратуру СКП-УП.

На каждый контейнер с лекарственными средствами установлена RFID-метка. Каждая из «умных полок» оборудована антенной для считывания RFID-меток. Поместив контейнер в «умную полку», аппаратура СКП-УП распознает метку и заносит информацию о ней в базу данных аппаратуры. Поиск местоположения необходимого контейнера с лекарственными средствами в «умных полках» выполняется космонавтом с использованием входящего в состав аппаратуры планшетного компьютера, при этом доступ к базе данных аппаратуры СКП-УП возможен как с помощью планшетного компьютера из состава аппаратуры, так и через бортовую локальную сеть с любого рабочего места РС МКС или из ЦУП.

4. Местонахождение космонавта

При эксплуатации орбитальных пилотируемых КС имеется ряд полетных операций, при выполнении которых группе управления полетом необходимо знать местоположение членов экипажа, некоторого инструмента или элемента оборудования. Важно знать местоположение каждого члена экипажа внутри станции при принятии решений в процессе ликвидации аварийных ситуаций; при выполнении экипажем опасных операций (например, ВКД). В настоящей работе выполнено исследование технических характеристик и отработка в натуральных условиях аппаратно-программных средств с использованием разработанной инфракрасной аппаратуры для определения трехмерных координат объектов в контролируемом пространстве – аппаратуры СКП-И (Система Координатной Привязки Инфракрасная) (рис. 3), включающей компоненты [7]:

- набор автономных инфракрасных приемников (ИКП) (9 шт.);
- набор автономных инфракрасных маяков (ИКМ) (3 шт.);
- модуль управления (МУ);
- программное обеспечение для обработки информации, полученной от ИКП;
- бортовой лэптоп.

Система СКП-И работает в "импульсном" режиме. МУ по радиоканалу запускает по очереди каждый ИКМ, находящийся в контролируемом пространстве (ИКМ по очереди излучают ИК-импульсы). Каждый ИКП, принявший ИК-импульс от ИКМ, передает в МУ двухмерные координаты центра светового пятна, образованного в результате воздействия ИК-импульса на сенсор ИКП. Данные измерений с МУ (по интерфейсу USB) поступают в бортовой лэптоп, где рассчитываются текущие координаты ИКМ. Система позволяет определять координаты объекта с частотой раз в 6 секунд. Точность определения местоположения космонавта составила около 1 метра. К недостаткам разработанной аппаратуры СКП-И относится необходимость калибровки аппаратуры перед каждым сеансом, что не позволяет использовать ее в

автоматическом режиме.

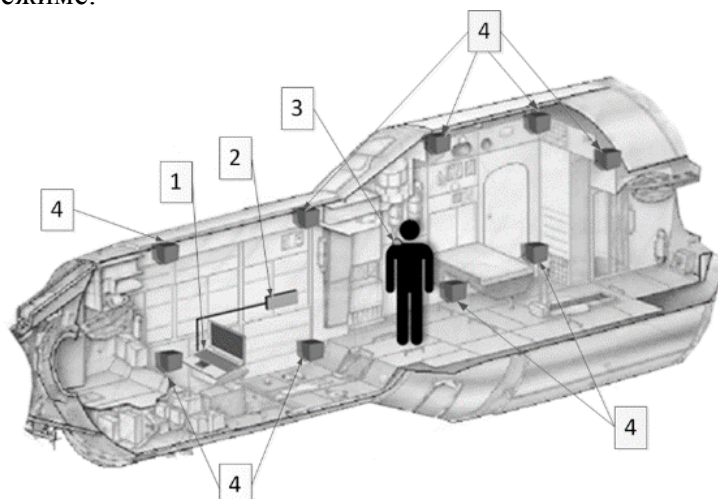


Рис. 3. Схема аппаратуры СКП-И: 1 – бортовой лэптоп; 2 – модуль управления; 3 – инфракрасный маяк; 4 – инфракрасные приемники.

4. Заключение

Разработанные аппаратно-программные средства исследованы в условиях полета РС МКС. Подтверждена принципиальная возможность использования всех трех рассмотренных СЛП в условиях реального космического полета.

В процессе выполненных исследований и экспериментального применения рассмотренных СЛП отработаны новые технологии выполнения полетных операции, позволяющие повысить эффективность работы экипажа и, следовательно, эффективность решения целевых задач КС в целом.

Список литературы

1. Бронников С.В., Караваев Д.Ю., Рожков А.С. Исследование технологии и средств привязки изображений Земли, полученных на пилотируемом космическом аппарате с помощью свободно перемещаемых камер // Космическая техника и технологии. 2016. № 2 (13). С. 105-115.
2. Bronnikov S., Karavaev D., Rozhkov A., Rulev D. Enhanced method to perform Crew Earth Observation onboard the ISS with use of relocatable cameras // Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, 2023. IAC-23-B3,4-B6.4,5,x75868.
3. Виноградов П.В., Крикалев С.К., Калери А.Ю., Бронников С.В., Караваев Д.Ю., Рожков А.С., Малименков Е.И. Способ определения географических координат изображений объектов на поверхности планеты при съемке с пилотируемого космического аппарата // Патент на изобретение РФ № 2353902. Бюл. № 12 от 27.04.2009.
4. Бронников С.В., Рожков А.С., Караваев Д.Ю., Рулев Д.Н., Рулин О.С., Калифатиди А.К., Городецкий И.Г. Способ ориентирования перемещаемого в пилотируемом аппарате прибора и система для его осуществления // Патент на изобретение РФ № 2531781. Бюл. № 30 от 27.10.2014.
5. Бронников С.В., Рожков А.С., Боровихин П.А., Рулев Д.Н. Способ ориентирования перемещаемой на борту пилотируемого корабля аппаратуры // Патент на изобретение РФ № 2695739. Бюл. № 21 от 25.07.2019.
6. Бронников С.В., Рожков А.С., Рулев Д.Н., Поздняков П.А., Калифатиди А.К., Волоховский Д.А., Привалов Ю.А. Устройство для хранения и идентификации перемещаемых объектов на космическом аппарате // Патент на изобретение РФ № 2665914. Бюл. № 25 от 04.09.2018.
7. Бронников С.В., Рожков А.С., Поздняков П.А., Рулев Д.Н., Волоховский Д.А., Привалов Ю.А., Набок А.А. Способ определения положения объекта преимущественно относительно космического аппарата и система для его осуществления // Патент на изобретение РФ № 2600039. Бюл. № 29 от 20.10.2016.