

Общая методология совместного применения операторного и автоматического управления движением лунохода в «ночных» кратерах на полюсах Луны

© С.П. Буслаев, В.А. Воронцов, О.С. Графодатский, А.М. Крайнов

АО «НПО Лавочкина», г. Химки, Московская область, 141400, Россия

Рассмотрены вопросы управления движением лунохода в условиях недостаточной освещенности в районах Северного и Южного полюсов Луны. Представлены варианты операторного и автоматического управления движением. Под операторным управлением следует понимать, что команды для движения формируются человеком (оператором), находящимся на удаленном пункте управления на Земле или Луне, передаются на луноход по радиолиниям. Автоматическое управление предусматривает автономное формирование команд для движения на борту лунохода. Рассмотрен случай автоматического управления движением с помощью бортовых стереотелекамер, когда с их помощью и с помощью программного обеспечения на борту лунохода строится трехмерная сетка поверхности местности и на ней автоматически прокладывается маршрут движения. После сравнения достоинств и недостатков операторного и автоматического способов управления движением лунохода выработаны рекомендации по логике их совместного применения в «ночных» кратерах Луны.

Ключевые слова: управление движением лунохода, тень в кратерах, система технического зрения, определение маршрута

Введение. Угол наклона плоскости лунного экватора к плоскости эклиптики незначителен ($1^{\circ}32'47''$), и поэтому даже неглубокие понижения местности в полярных областях Луны могут образовывать участки поверхности, которые будут находиться в постоянной тени при любом положении Солнца. Такое положение Луны сохранялось в течение последних 3 млрд лет и в глубоких кратерах в областях постоянной тени существуют «холодные ловушки», в которых температура не превышает 110...150 К. По результатам исследования поверхности Луны с помощью космического аппарата (КА) «Лунар проспектор» [1], оснащенного нейтронным спектрометром, в полярных районах Луны были обнаружены повышенные потоки надтепловых нейтронов, которые могли косвенно свидетельствовать о наличии водяного льда в изучаемых районах. Позднее были получены данные о том, что эти районы совпадали с районами ударных кратеров на Южном полюсе Луны. Впрочем, следует отметить, что точные подтверждения наличия водяного льда в указанных областях не получены и пока существуют различные научные гипотезы [2–5]. Окончательный ответ на этот вопрос могут дать только прямые исследования поверхности Луны с помощью посадочных аппаратов

и луноходов. При этом актуальной становится проблема управления движением лунохода в условиях отсутствия освещения в таких «ночных» кратерах.

Целью настоящей работы является разработка предложений по формированию логики управления движением лунохода в «ночных» кратерах Луны, а также рекомендаций по реализации такой логики с учетом опыта эксплуатировавшихся ранее планетоходов и проводившихся ранее исследований в НПО им. С.А. Лавочкина и других научных центрах.

Применение бортовых осветителей для освещения местности перед луноходом. В качестве примера (рис. 1) рассмотрим один из кратеров на Южном полюсе Луны — кратер Шеклтона [2]. Глубина этого кратера составляет около 3000 м и ширина почти 20 000 м. Кратер был образован почти 3 млрд лет тому назад, его внутренняя поверхность сильно изрезана бороздами и ущельями. Управление движением лунохода на подобной местности внутри кратера представляет значительные проблемы.

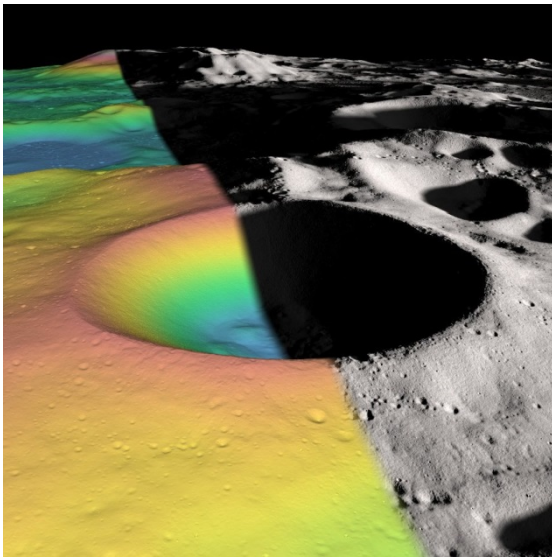


Рис. 1. Кратер Шеклтона на Луне [2]

На рис. 1 видно, что внутри кратера существует вечная ночь, а источником освещения является только звездное небо. Для освещения местности перед луноходом предлагается применение бортовых осветителей, установленных на луноходе. При этом большое значение имеет место расположения осветителей относительно телекамер лунохода.

Руководитель разработки телевизионных систем советских луноходов, сотрудник АО «Российские космические системы» (РКС)

профессор А.С. Селиванов отмечал, что лунный грунт (реголит) имел очень специфические светооптические характеристики. При определенных углах он хорошо отражал свет в сторону источника освещения. Если Солнце светило точно «сзади» и при небольшом угле относительно оптической оси телекамеры, то в ближней зоне получалось светлое пятно — была большая освещенность и не было видно теней. В случае возможной ошибки водитель мог войти в напряженное состояние и уменьшить скорость движения.

А.С. Селиванов отмечал, что луноход приходилось поворачивать для того, чтобы появились тени и рельеф был виден лучше [6]. Такой прием увеличивал также динамический диапазон (соотношение между максимальной и минимальной фиксируемой интенсивностью света) телеснимка местности в поле зрения телекамер. Это создавало более благоприятные условия для работы водителя.

Рассмотрим два различных варианта расположения осветителя относительно места установки телекамеры на борту лунохода. Рассмотрим случай (рис. 2), когда бортовой осветитель установлен на мачте с телекамерой и смещен вниз относительно телекамеры. Геометрические параметры поля зрения телекамеры примерно соответствуют одному из рабочих вариантов, геометрические размеры лунохода и рисунка предназначены для иллюстрации и поэтому соразмерность объектов на рисунке может быть нарушена.

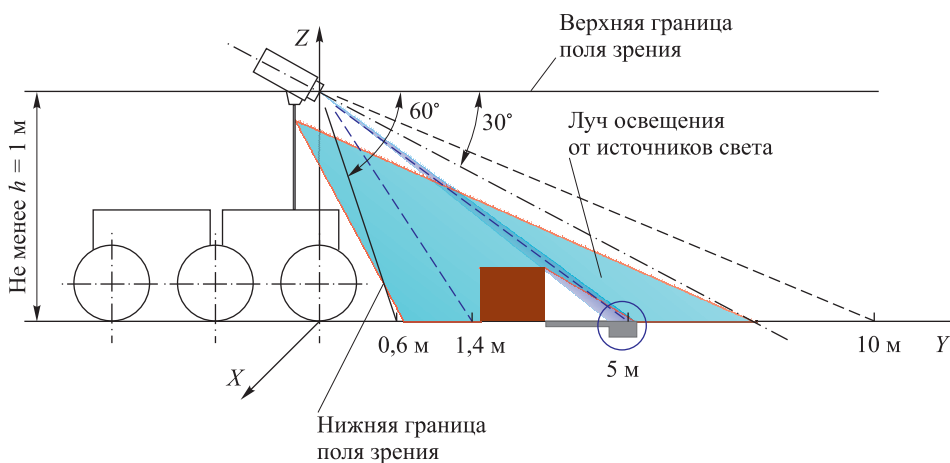


Рис. 2. Освещение местности перед луноходом в направлении «вперед»

На рис. 2 видна тень, падающая на горизонтальную поверхность грунта от элемента рельефа типа куб. В поле зрения телекамеры и оператора попадает только часть этой тени, которая эффективна для восприятия рельефа человеком. Эта часть тени обведена кругом с центром, который находится на расстоянии 5 м от начала оси коор-

динат Y (см. рис. 2). Ее размеры зависят от взаимного относительного положения телекамеры и осветителя на мачте в вертикальном направлении (ось Z). Варьирование этим положением позволяет создавать более благоприятные условия для работы оператора.

Рассмотрим случай освещения местности, когда осветитель смещен в направлении оси X , перпендикулярной к продольной оси лунохода Y (рис. 3).

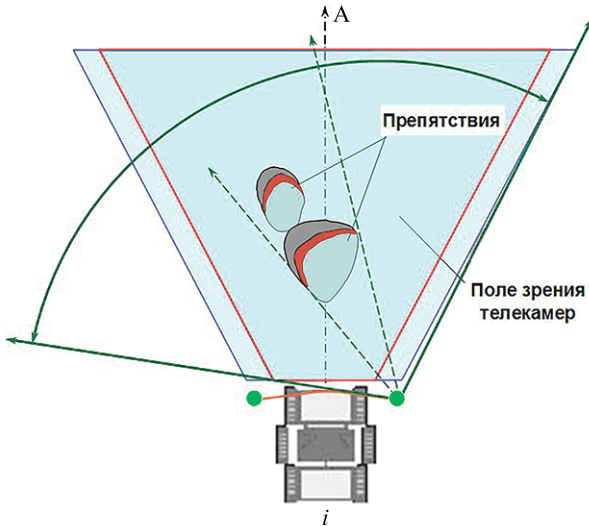


Рис. 3. Освещение местности перед луноходом в направлении «сбоку»

Из рис. 3 видно, что с увеличением бокового смещения осветителя относительно точки установки телекамеры все большая доля падающей тени от элементов рельефа попадает в поле зрения телекамер (и водителя соответственно) и становится эффективной. Поэтому для увеличения площади эффективной тени и для улучшения восприятия рельефа водителем желателно смещение бортового осветителя вбок от места установки телекамеры. Этот эффект в большей степени наблюдается для препятствий вблизи лунохода и в меньшей степени для дальних препятствий.

Задача выбора точки установки осветителей на луноходе требует более детальной проработки для конкретной конструкции и в общем случае определяется конструктивными особенностями лунохода.

Операторное управление движением лунохода. В случае операторного управления движением лунохода управление проводится операторами с удаленного пункта. Подобный способ применялся при работе советских КА «Луноход-1» и Луноход-2» и американских марсоходов Pathfinder, Spirit, Opportunity и Curiosity.

При этом ситуация с управлением луноходом отличается от таковой с управлением марсоходом. Впервые операторный способ управления

применялся на «Луноходе-1» и «Луноходе-2». Группа операторов составляла пять человек. По свидетельству водителя «Лунохода-1», «Лунохода-2» В.Г. Довганя и с учетом времени поступления сигнала с Земли до Луны 1,3 с, времени обратного прохождения сигнала и аппаратной задержки, минимальное время до момента подачи следующей команды составляло 4,1 с. В.Г. Довгань сообщил, что при существовавшем в то время «малокадровом» телевидении изображение поверхности Луны на экране «замирало» чуть ли не на 20 с, хотя луноход в это время продолжал движение [6]. Такие задержки во времени получения новой информации создавали значительные трудности для управления движением лунохода, тем не менее позволяли использовать операторный способ управления.

В случае с марсоходами, в зависимости от взаимного положения Земли и Марса, сигнал с одной планеты до другой может идти от 3 до 12 мин. И если в случае с первым марсоходом Pathfinder его движением управляли только с Земли, то для марсоходов Spirit, Opportunity и Curiosity уже было разработано автоматическое управление его движением. Такое управление применялось в случаях, когда, по визуальной оценке операторов, местность в направлении движения марсохода была несложной для движения.

К достоинствам операторного способа можно отнести его большую надежность и способность лучше находить решение для выхода из непредвиденных ситуаций на маршруте, к недостаткам — следующие:

невозможность управления движением планетохода при его выходе из зоны радиовидимости;

меньшая общая скорость перемещения в случае значительной задержки радиосигнала;

проблемы с субъективной человеческой оценкой характера рельефа в некоторых случаях освещения местности;

связанная с последним недостатком невозможность обнаруживать препятствия перед планетоходом в отдельных случаях.

Автоматическое управление движением лунохода. Для устранения этих недостатков был разработан способ управления движением луноходом с помощью системы технического зрения (СТЗ), когда планирование маршрута движения и его выполнение проводятся полностью автономно на борту лунохода. Такая система включает в себя две стереотелекамеры, датчики лунохода и бортовой спецпроцессор с программно-алгоритмическим обеспечением (ПАО). В спецпроцессоре выполняется обработка стереоизображений местности перед марсоходом, строится трехмерная цифровая модель этой местности (Digital Terrain Model — DTM) и планируется маршрут движения марсохода (Patch planning).

Разработка подобной системы проводилась в Институте космических исследований АН СССР и в НПО им. С.А. Лавочкина в 1980–1990-х гг. в рамках Международной марсианской программы, а также в зарубежных научных центрах — Национальном центре космических исследований Франции (CNES), Лаборатории космической астрономии в Марселе (LAS), Научно-исследовательском институте атомной энергии Венгерской Академии наук (KFKI) и американских научных центрах. Более подробно проводившиеся исследования описаны в работах [7–9].

Позднее результаты этих исследований были использованы на американских марсоходах Spirit (2004), Opportunity (2004) и Curiosity (2012) [10].

Типичное автономное движение планетохода между точками А и Б с помощью СТЗ представлено на рис. 4. В точке А маршрута производится панорамная или частично панорамная стереосъемка местности, строится цифровая 3D-модель местности перед планетоходом, на которой в бортовом компьютере планетохода планируется безопасный маршрут движения. Затем планетоход продолжает движение по спланированному отрезку пути, и цикл повторяется снова. Если местность перед планетоходом оказывается непроходимой, проводится панорамная съемка.

Модель одного шага в цикле движения иллюстрирует рис. 5. Имеется заданное направление движения — А. В поле зрения стереотелекамер рассчитывается цифровая 3D-модель местности. В бортовом компьютере имеется программа кинематической модели планетохода.

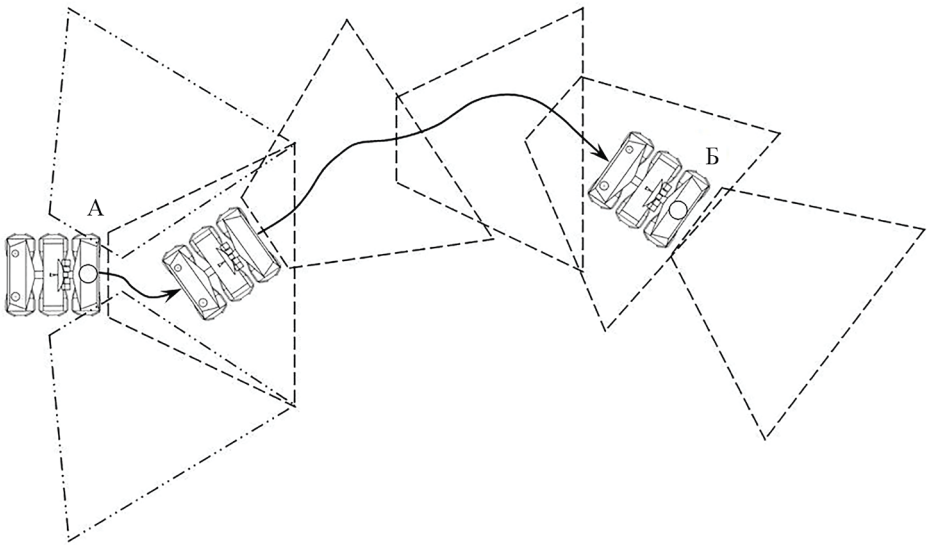


Рис. 4. Схема маршрута автономного движения планетохода

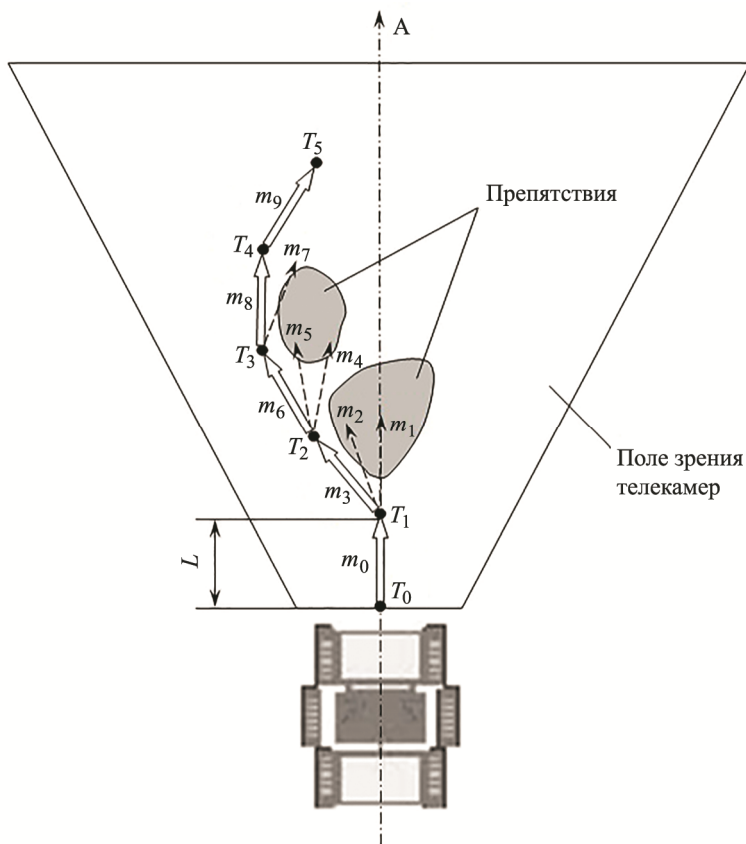


Рис. 5. Модель автономного планирования маршрута движения лунохода

С помощью этой кинематической модели в бортовом компьютере моделируется прямолинейное движение планетохода из начальной точки T_0 в заданном направлении A на расстояние L . Если участок прямолинейного движения m_0 оказывается безопасным, то планирование маршрута продолжается из точки T_1 .

Если следующий рассчитанный шаг движения m_1 оказывается опасным, то рассчитывается шаг m_2 в другом направлении. Если шаг m_2 также оказывается опасным, то рассчитывается шаг m_3 . Так продолжается до тех пор, пока не будет найден безопасный прямолинейный шаг движения. В случае, представленном на рис. 5, таким шагом оказался шаг m_3 . Дальнейшая логика планирования маршрута хорошо видна (см. рис. 5). После окончания планирования маршрута на участке T_0 – T_5 бортовой компьютер дает команду на движение планетохода по этому маршруту.

Достоинством автоматического способа управления движением лунохода с помощью СТЗ является прежде всего возможность точно-го количественного измерения формы рельефа перед планетоходом

и возможность построения 3D-сетки поверхности грунта. Визуальное восприятие местности человеком не позволяет сделать это.

К недостаткам автоматического способа управления движением с помощью СТЗ можно отнести следующие:

ограниченную информативность этого способа, поскольку он не дает возможность судить о характере грунта в поле зрения телекамер и о предполагаемых физико-механических свойствах грунта (в то же время оператор на основе своего опыта может попытаться оценить эти свойства, в зависимости, например, от близости маршрута к соседним кратерам и т. п.);

ограниченные возможности автоматического способа выхода из возникающих на маршруте непредвиденных ситуаций, которые заранее предусмотреть нельзя и для которых заранее тяжело разработать формализованные алгоритмы выхода из них.

Совместное применение операторного и автоматического управления движением лунохода. Как отмечено выше, к настоящему времени при управлении движением планетоходов использовались оба способа управления движением: операторный — на советских «Луноходе-1» и «Луноходе-2» и операторный вместе с автоматическим — на американских марсоходах Spirit, Opportunity и Curiosity. Автоматическое управление движением с помощью СТЗ применялось также на китайском луноходе «Юйту», но в связи с небольшим временем функционирования китайского лунохода оценить работу его СТЗ затруднительно.

Условия для управления движением в лунных кратерах в области вечной ночи отличаются от условий управления движением как на поверхности Марса, так и на поверхности «дневной» части Луны. Так, например, применявшиеся на марсоходе Curiosity черно-белые навигационные камеры имели разрешение, позволявшее видеть объект размером 2 см с расстояния 25 м [11]. Однако в настоящее время неясно, обеспечат ли бортовые осветители лунохода достаточную освещенность для различения таких же объектов на таком же расстоянии в «ночных» лунных кратерах. Неясно также, будет ли динамический диапазон фотографируемой сцены достаточным для работы СТЗ и на каком удалении от лунохода система технического зрения сможет работать.

Окончательно создавшееся положение можно описать следующим образом. На Луне (не в «ночных» кратерах) возможно управление движением лунохода только с помощью одного операторного способа, как это было для «Лунохода-1» и «Лунохода-2». На Марсе возможно управление движением марсохода с применением только одного автоматического способа управления на его борту без участия оператора на отдельных довольно протяженных участках местности.

На Луне в «ночных» кратерах движение лунохода, видимо, потребует одновременного применения операторного и автоматического способов управления движением на основе СТЗ, что объясняется плохим освещением местности как для операторного, так и для автоматического способа управления движением лунохода. При этом операторный и автоматический способы управления его движением будут объединены и реализованы в одном программно-аппаратном комплексе с размещением сегментов этого комплекса на борту лунохода и в удаленном пункте управления на Земле (рис. 6).



Рис. 6. Общая схема автоматического и операторного управления луноходом: датчики положения лунохода: БИНС — бесплатформенная инерциальная навигационная система; СД — солнечный датчик (в общем случае); ЗД — звездный датчик; ДВ — датчик вертикали

На борту лунохода полностью реализована возможность его автономного движения без участия человека, когда планирование маршрута и перемещение по маршруту происходит только с помощью собственных аппаратных и программных бортовых средств. Но при этом операторы также имеют возможность управлять движением лунохода с удаленного пункта управления в ручном режиме. В этом случае система технического зрения лунохода будет оказывать помощь оператору, передавая ему данные для построения трехмерной сетки поверхности перед луноходом, выдавая рекомендации

о направлении движения, идентифицируя препятствия перед луноходом и обеспечивая дополнительную безопасность движения.

На удаленном пункте управления есть полный программно-аппаратный аналог бортовой СТЗ лунохода и имеется возможность сопровождения работы бортовой СТЗ лунохода вычислительными средствами удаленного пункта управления большей мощности. Решение о степени участия автоматического управления движением в текущем управлении движением принимается оператором в зависимости от ситуации.

Выводы. Проведенное сравнение преимуществ и недостатков операторного и автоматического способов управления движением лунохода позволило сформулировать рекомендации по их совместному применению в «ночных» кратерах Луны.

Управление движением лунохода при совместной работе операторного и автоматического способов основано на осуществлении взаимно дополняющих и взаимно заменяющих принципах, обуславливающих так называемую подстраховку одного способа другим.

Дальнейшую разработку операторного способа следует проводить на наземных физических стендах с моделированием освещения в «ночных» лунных кратерах в целях определения работоспособности системы технического зрения лунохода. Для этого целесообразно использовать также математические моделирующие стенды. Комплексное использование физических и математических стендов, моделирующих работу системы «местность + луноход + человек + система управления движением», может послужить для отработки совместного использования рассматриваемых способов управления движением лунохода и логики их применения на перспективу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пугачева С.Г., Феоктистова Е.А. Отложения реликтовой замерзшей воды на Луне. *Инновации и инвестиции*, 2015, № 11, с. 227–232.
- [2] Researchers Estimate Ice Content of Crater at Moon's South Pole. *NASA*. 20.06.2012. URL: https://www.nasa.gov/mission_pages/LRO/news/crater-ice.html (дата обращения 08.02.2017).
- [3] Тонкий лед в кратере вечной тьмы. *АСТРОновости*, 25.06.2012. URL: <http://astronovosti.ru/tonkij-led-v-kratere-vechnoj-tmy/> (дата обращения 08.02.2017).
- [4] Robson D. No ice rinks on the Moon after all. *New Scientist*, 23.10.2008. URL: <https://www.newscientist.com/article/dn15024-no-ice-rinks-on-the-moon-after-all/> (дата обращения 08.02.2017).
- [5] The Clementine Mission. *Lunar and Planetary Institute*. URL: <http://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/clementine/data/> (дата обращения 08.02.2017).
- [6] «Товарищи, вам доверили бесценный космический аппарат...». *Российские космические системы*. URL: <http://russianspacesystems.ru/2017/01/10/lunokhod-2/> (дата обращения: 06.02.2017).

- [7] Полишук Г.М., Пичхадзе К.М., Роговский Г.Н., Буслаев С.П. Разработка в НПО им. С.А.Лавочкина технического стереозрения для автономного управления движением планетохода. *Тезисы докладов международной научно-практической конференции 2–3 октября 2007 г. «Особенности развития космической отрасли России и перспективы ее дальнейшей интеграции в систему международных экономических связей»*. Санкт-Петербург, БГТУ Военмех, 2007, с. 120–122.
- [8] Буслаев С.П. Разработка бортовой системы автономного технического зрения марсохода. *Вестник ФГУП НПО С.А. Лавочкина*, 2013, № 1, с. 24–28.
- [9] Lamboley M., Proy C., Rastel L., Zashchirinski A. and Buslaev S. Marsokhod: Autonomous Navigation Tests on a Mars-Like Terrain. *Autonomous Robots*, 1995, vol. 2, p. 345–351.
- [10] Eyes and Other Senses. *NASA. Mars Science Laboratory*. URL: <http://mars.nasa.gov/msl/mission/rover/eyesandother/> (дата обращения: 028.02.2017).
- [11] Техника. Марсоход. Curiosity. *Ecorospace.Me*. URL: <http://ecorospace.me/Марсоход.+Curiosity.html> (дата обращения 10.03.2017).

Статья поступила в редакцию 30.03.2017

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XLI Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 24–27 января 2017 г.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Буслаев С.П., Воронцов В.А., Графодатский О.С., Крайнов А.М. Общая методология совместного применения операторного и автоматического управления движением лунохода в «ночных» кратерах на полюсах Луны. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 8.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-8-1665>

Буслаев Сергей Петрович — канд. техн. наук, ведущий специалист АО «НПО Лавочкина». Область научных интересов: автоматическое управление движением планетоходов, искусственный интеллект планетоходов на основе технического зрения, посадка космических аппаратов на поверхность планет. Автор 75 научных публикаций. e-mail: se.bouslaev@yandex.ru

Воронцов Виктор Александрович — д-р техн. наук, профессор, руководитель дирекции АО «НПО Лавочкина». Область научных интересов: проектирование непилотируемых космических аппаратов. Автор 295 научных публикаций. e-mail: vorontsov@laspaceru

Графодатский Олег Сергеевич — д-р техн. наук, первый заместитель генерального директора АО «НПО Лавочкина». Область научных интересов: проектирование непилотируемых космических аппаратов. Автор более 300 научных публикаций. e-mail: grafodatsky@laspaceru

Крайнов Анатолий Михайлович — руководитель проекта АО «НПО Лавочкина». Область научных интересов: проектирование планетоходов. Автор 45 научных публикаций. e-mail: krainov@laspaceru

Common methodology for joint application of operator-driven and automated lunar rover motion guidance in night-side craters on lunar poles

© S.P. Buslaev, V.A. Vorontsov, O.S. Grafodatskiy, A.M. Kraynov

Lavochkin Science and Production Association,
Khimki town, Moscow Region, 141400, Russia

The study considers issues of guiding lunar rover motion under insufficient illumination conditions of the north and south lunar pole regions. We present options for operator-driven and automated motion guidance. Operator-driven guidance means that a human being (an operator) located at a remote control centre on the Earth or the Moon generates motion commands. The commands are transmitted to the rover by radio links. In the case of automated guidance, motion commands are generated independently on board the rover. We consider the case of automated motion guidance using on-board stereo television cameras, when the rover employs their data and on-board software to construct a three-dimensional grid of the terrain surface and automatically chart its path on it. We compare advantages and disadvantages of operator-driven and automated lunar rover motion guidance methods and work out the recommendations dealing with the logic of their joint application in night-side lunar craters.

Keywords: lunar rover motion guidance, shadow in craters, machine vision system, path-finding

REFERENCES

- [1] Pugacheva S.G., Feoktistova E.A. *Innovatsii i investitsii — Innovations and Investments*, 2015, no. 11, pp. 227–232.
- [2] Researchers Estimate Ice Content of Crater at Moon's South Pole. *NASA*. 20.06.2012.
Available at: https://www.nasa.gov/mission_pages/LRO/news/crater-ice.html (accessed February 8, 2017).
- [3] Tonkiy led v kratere vechnoy tmy. *ASTRONovosti*. 25.06.2012 [AstroNews. Thin ice in a crater of eternal darkness].
Available at: <http://astronovosti.ru/tonkij-led-v-kratere-vechnoj-tmy/> (accessed February 8, 2017).
- [4] Robson D. No ice rinks on the Moon after all, 23.10.2008. *New Scientist*.
Available at: <https://www.newscientist.com/article/dn15024-no-ice-rinks-on-the-moon-after-all/> (accessed February 8, 2017).
- [5] The Clementine Mission. *Lunar and Planetary Institute*. Available at: <http://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/clementine/data/> (accessed February 8, 2017).
- [6] “Tovarishchi, vam doverili bestsennyy kosmicheskiy apparat...” [Comrades, you have been trusted with priceless spacecraft]. *Rossiyskie kosmicheskie sistemy* [Russian space systems].
Available at: <http://russianspacesystems.ru/2017/01/10/lunokhod-2/> (accessed February 6, 2017).
- [7] Polishchuk G.M., Pichkhadze K.M., Rogovskiy G.N., Buslaev S.P. Razrabotka v NPO im. S.A. Lavochkina tekhnicheskogo stereozreniya dlya avtonomnogo upravleniya dvizheniem planetokhoda [Lavochkin Science and Production Association developing stereoscopic machine vision for autonomous planetary

- rover motion guidance]. *Tezisy докладov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 2–3 oktyabrya 2007 g. Osobennosti razvitiya kosmicheskoy otrasli Rossii i perspektivy ee dalneyshey integratsii v sistemu mezhdunarodnykh ekonomicheskikh svyazey* [Proc. of the International Scientific and Applied Conference, October 2–3, 2007. Specifics of the development of the Russian space industry and the prospects of its further integration into the international economic relation system]. Saint Petersburg, Ustinov Baltic State Technical University VOENMEH Publ., 2007, pp. 120–122.
- [8] Buslaev S.P. *Vestnik FGUP NPO S.A. Lavochkina — Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina (Herald of the Lavochkin Science and Production Association)*, 2013, no. 1, pp. 24–28.
- [9] Lambole M., Proy C., Rastel L., Zashchirinski A. and Buslaev S. *Autonomous Robots*, 1995, no. 2, pp. 345–351.
- [10] Eyes and Other Senses. *NASA. Mars Science Laboratory*. Available at: <http://mars.nasa.gov/msl/mission/rover/eyesandother/> (accessed February 08, 2017).
- [11] Tekhnika. Marsokhod. Curiosity [Technology. Mars rover. Curiosity]. *Ecorospace.Me*. Available at: <http://ecorospace.me/Марсоход.+Curiosity.html> (accessed March 10, 2017).

Buslaev S.P., Cand. Sc. (Eng.), Leading Specialist, Lavochkin Science and Production Association. Specialises in automated guidance of planetary rover motion, planetary rover artificial intelligence based on machine vision. e-mail: se.bouslaev@yandex.ru

Vorontsov V.A., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of Management, Lavochkin Science and Production Association. Specialises in unmanned spacecraft design. e-mail: vorontsov@laspace.ru

Grafodatskiy O.S., Dr. Sc. (Eng.), First Deputy General Director, Lavochkin Science and Production Association. Specialises in unmanned spacecraft design. e-mail: grafodatsky@laspace.ru

Krainov A.M., Project Leader, Lavochkin Science and Production Association. Specialises in planetary rover design. e-mail: krainov@laspace.ru