DOI: 10.17117/na.2017.01.03.101

<http://ucom.ru/doc/na.2017.01.03.101.pdf>

Поступила (Received): 23.01.2017

Литвинов Ю.В., Мазулина В.В., Чашчина М.М. Организация движения мобильного робота по пересечённой местности

Litvinov Yu.V., Mazulina V.V., Chashchina M.M.
Organization of mobile robot movement over rough terrain

Предложен алгоритм управления автономным колесным роботом на пересеченной местности по заданному маршруту. Анализ окружающей среды осуществляется при помощи ультразвуковых датчиков, гироскопа, системы технического зрения и GPS модуля. Полученные с сенсоров данные используются процессором робота для расчёта траектории объезда препятствий и возврата на первоначально заданный маршрут, а также для корректировки локальной карты местности

Ключевые слова: пересеченная местность, мобильный робот, техническое зрение

There is new algorithm for controlling autonomous wheeled robot on rough terrain on using given route. Environmental analysis carried out by means of ultrasonic sensors, gyro, vision systems and GPS-module. These data are used with the sensors of the robot processor to calculate the trajectory of a detour obstacles and return to the originally specified route, as well as to adjust the local area maps

Key words: wheeled robot, rough terrain, vision systems

Литвинов Юрий Володарович

Кандидат технических наук, доцент, старший преподаватель

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики
г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Litvinov Yuri Volodarovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer

Saint Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics
Saint Petersburg, Kronverkskiy ave., 49

Мазулина Вероника Васильевна

Аспирант

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики
г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Mazulina Veronika Vasilevna

Graduate

Saint Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics
Saint Petersburg, Kronverkskiy ave., 49

Чашчина Мария Максимовна

Студент

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики
г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Chashchina Maria Maksimovna

Student

Saint Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics
Saint Petersburg, Kronverkskiy ave., 49

Исследование поверхности небесных тел солнечной системы: Луны, Марса, астероидов и комет требует разработки и создания автоматических аппаратов. Естественно, что для этой цели наиболее подходящим средством будет

являться мобильный робот. Обычно управление таким роботом осуществляется с удалённого пункта, что приводит к определённой задержке сигналов. В связи с этим желательно, что бы мобильный робот мог двигаться в автономном режиме, самостоятельно принимая решения при изменении окружающей среды и возникновении препятствий. Основными требованиями, предъявляемыми ко всем мобильным роботам, независимо от их сложности и функционального назначения, являются надёжность навигационной системы и оптимальность алгоритмов управления.

Данная работа посвящена разработке автономного мобильного робота, перед которым стоят следующие задачи: движение по заданной траектории, обнаружение препятствий и их объезд, возврат на первоначально заданный маршрут, построение или корректировка карты местности и определение собственных координат на ней в режиме реального времени. Существует множество решений задач, поставленных на плоскости [1,2]. Проблемы возникают при переходе на пересеченную местность. В таком случае могут возникнуть ситуации, при которых робот идентифицирует наклонные поверхности, как препятствия (рис. 1).

Рис. 1. «Фиктивное» препятствие: 1 – мобильный робот; 2 – видеокамера; 3 – УЗ датчик; 4 – поверхность

В существующих на сегодня роботах, предназначенных для работы на пересеченной местности, упор делается на усовершенствование механической составляющей, увеличении степени подвижности мобильной платформы, например четырехколесный робот «Sample-Return Rover» с активной шарнирной подвеской [1] или платформы «Shrimp», управление которой происходит за счет регулирования вращающего момента на колесах и оценке вероятности скольжения каждого колеса [2].

Недостатком рассмотренных систем является отсутствие алгоритмов идентификации и объезда непроходимых роботом участков. В данной работе предложен алгоритм, основанный на оценке характера поверхности движения ультразвуковым датчиком и гироскопом.

При движении робота по неизвестной или подвергшейся изменениям территории могут возникнуть ситуации, когда близлежащие препятствия не попадают в зону видимости дальномера и системы стерео зрения.

Если опираться только на показания датчиков, в сложившейся ситуации робот может повернуть вправо или влево и столкнуться с препятствием. Но велика вероятность, что объекты, не попавшие в зоны сканирования сенсоров в

данный момент, наблюдались ими ранее. Поэтому формирование локальной карты местности в процессе движения может быть решением этой проблемы.

Локальная карта местности представляет собой набор точек с координатами (X_i, Y_i) , положение которых оценивается относительно центра вращения робота. При движении робота происходит передислокации препятствий. Их новые координаты вычисляются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} X_i^{new} &= X_i \cdot \cos\Delta\alpha - Y_i \cdot \sin\Delta\alpha \\ Y_i^{new} &= X_i \cdot \sin\Delta\alpha + Y_i \cdot \cos\Delta\alpha - \Delta L \end{aligned}$$

где (X_i^{new}, Y_i^{new}) – новые координаты точки с координатами (X_i, Y_i) , $\Delta\alpha$ – угол поворота робота, вычисляемый при помощи гироскопа, ΔL – линейное перемещение робота, вычисляемое при помощи энкодера.

При движении робота в открытом пространстве для определения его положения в режиме реального времени будем использовать модуль GPS/ГЛОНАС. Если сигнал с устройства пропадет, то координаты робота будут вычисляться при помощи энкодера и гироскопа. Как только сигнал GPS/ГЛОНАС будет вновь зафиксирован, показания энкодера могут быть откорректированы. Это позволит избежать накопления ошибки пройденного расстояния.

Независимо от характера рабочей поверхности робот придерживается следующего алгоритма движения: во время отработки заданной траектории робот постоянно сканирует окружающее пространство до тех пор, пока не зафиксирует наличие препятствия. Затем производит его идентификацию и совершает манёвр объезда с выходом на заданную траекторию движения. Эти процедуры выполняются в цикле до тех пор, пока не будет достигнута цель [3].

Идентификация статических препятствий, с которыми может столкнуться мобильная платформа, осуществляется при помощи стерео зрения. Для этого на одной оси установлены две идентичные видеокамеры так, чтобы их главные оптические оси были параллельны друг другу и параллельны плоскости движения. Расстояние до точек препятствия Z вычисляется по следующей формуле:

$$Z = \frac{fT}{d}$$

где f – фокальное расстояние фотоприемников, T – расстояние между центрами проекций камер (база), d – величина смещения проектируемой точки на изображениях левой и правой камер.

При движении робота датчики, расположенные на поворотной платформе, сканируют лежащую впереди местность. При обнаружении препятствия робот останавливается. Платформа с датчиками поворачивается на 90° влево и на 90° вправо от центрального положения. Во время поворотов, в массив данных заносятся углы поворота платформы с датчиками и расстояния до препятствия. Затем из массива выбирается угол, при котором препятствие не было зафиксировано, робот поворачивает на этот угол и некоторое время движется вперед, контролируя пространство перед собой. Далее, с помощью данных с гироскопа и энкодера возвращается на заданную траекторию.

При переходе на пересеченную местность в алгоритме движения робота по плоскости необходимо дополнить элементную базу робота ещё одним или двумя ультразвуковыми дальномерами «Н», вынесенными на некоторое

расстояние вперед за габариты робота и направленными вниз, как это показано на рисунке 3. Основная функция этого ультразвукового сенсора – идентификация препятствий типа «ступенька» или «яма». Дальномер (датчик «Н») определяет расстояние до объектов, расположенных под ним.

Будем считать, что робот беспрепятственно может преодолеть «ступеньку» или «яму», высота/глубина которой не превышает $1/3$ диаметра колеса D .

Рис. 3. Определение характера поверхности движения

Таким образом, если расстояние H больше $D/3$, робот остановится и перейдет к алгоритму объезда препятствия, указанному в пункте 3.

Для того чтобы не попасть на опасный участок, в дополнение к ультразвуковому датчику используется гироскоп. С него снимаются данные о скорости изменения угла наклона $\dot{\beta}$ мобильной платформы (рис.4).

Рис. 4. Принятая система координат

Если значение H лежит в допустимых пределах, т.е. меньше $D/3$, то учитывается скорость изменения угла наклона поверхности $\dot{\beta}$ и вычисляется значение самого угла наклона. Если угол наклона поверхности не превышает $\pm 30^\circ$, что соответствует максимально допустимому углу наклона поверхности, которую может преодолеть робот без проскальзывания, то движение продолжается в ту же сторону. Если угол наклона плоскости движения не попадает в

указанный диапазон, то этот участок помечается как помеха и подключается алгоритм объезда препятствия.

Если β превышает допустимое значение, то контроллер отправляет на драйвер двигателей команду на снижение скорости движения на опасном участке.

Для проведения эксперимента была разработана функциональная схема мобильного робота [5]. На рисунке 5 приведён график результатов измерений ультразвуковым датчиком профиля пересечённой местности, по которой двигался мобильный робот.

Рис. 5. Профиль пересечённой местности по которой двигался робот

Для того чтобы избежать остановки робота и перехода к объезду препятствия, необходимо провести следующее измерение расстояния и сравнить полученные результаты. Если значение H изменилось, то робот остановится и приступит к алгоритму объезда опасного участка. Если же величина следующего измерения будет лежать в допустимых для робота пределах, то робот будет двигаться дальше по заданному маршруту.

Также необходимо изменять частоту испускаемого дальномером сигнала прямо пропорционально скорости движения робота. Это позволит снизить вычислительную нагрузку на контроллере при малых скоростях и обезопасить робота при больших.

В результате был разработан алгоритм обнаружения и объезда мобильным колесным роботом препятствий на плоскости и его движения по пересечённой местности. В отличие от существующих аналогов в данном исследовании упор делался не на улучшении механической составляющей платформы и увеличении степени ее подвижности, а на расширении возможностей сенсорных систем. Это позволит роботу заранее принимать решение о ходе дальнейших действий. Также преимуществом подобного подхода является возможность закладывания в алгоритм решения ситуаций, при которых робот не может преодолеть определенный участок заданной траектории. Для выполнения эксперимента была разработана функциональная схема робота, выбрана его элементная база и построен прототип.

Система оцувствлення робота состоить из ультразвуковых датчиков, системы технического зрения, гироскопа, энкодера и GPS/ГЛОНАСС модуля. Использование указанного набора датчиков позволяет добиться большой степени автономности. Интеллектуальность робота заключается в возможности определять характер своих действий в зависимости от изменений в окружающей среде.

Список используемых источников:

1. Iagnemma K., Dubowsky S. *Mobile robot in rough terrain: estimation, motion planning, and control with application to planetary rovers* // Springer, 2004. P. 111.
2. Cook G. *Mobile robots: navigation, control and remote sensing* // John Wiley and Sons, 2011. P.324.
3. Мазулина В.В., Евстигнеев М.И., Гао Лу, Лазаревич А.А., Литвинов Ю.В., Мищенко Г.М., Фролов С.Н. Организация движения мобильного робота в заданную точку с учетом препятствий // *Věda a technologie: krok do budoucnosti* – 2014. С. 40-45. 88 стр. Praha, 2014
4. Мазулина В.В., Литвинов Ю.В., Фролов С.Н. Использование веб-камеры для обнаружения препятствия на пути движения мобильного робота // *Системы обробки інформації. Вип. 7 (114)*. С. 24-26.
5. Евстигнеев М.И., Литвинов Ю.В., Мазулина В.В., Мищенко Г.М. Алгоритмы управления четырехколесным роботом при движении по пересеченной местности // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение* – 2015. Т. 58. № 9. С. 738-741.

© 2017, Литвинов Ю.В., Мазулина В.В., Чашчина М.М.
Организация движения мобильного робота по
пересечённой местности

© 2017, Litvinov Yu.V., Mazulina V.V.,
Chashchina M.M.
Organization of mobile robot movement over
rough terrain