

УДК 681.513.6

К. В. Игнатъев, А. В. Путов, М. М. Копычев, В. В. Путов, Н. А. Русяев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Нечеткая система автономного управления движением робота с компьютерным зрением и всенаправленными колесами

Рассматривается построение двухуровневой компьютерной автономной нечеткой системы управления движением трехколесного робота с техническим зрением. Разработан действующий экспериментальный образец робота, продемонстрированный на выставке «ВУЗПРОМЭКСПО-2015».

Нечеткая логика, система автономного управления, техническое зрение, мобильный робот

В статье представлен автономный робот с компьютерным зрением и системой управления, основанной на нечеткой логике. Робот может передвигаться по заранее не определенной траектории, избегая столкновений с препятствиями.

Робот имеет классическую трехколесную конструкцию, содержащую два передних независимых ведущих мотор-колеса с бесщеточными двигателями постоянного тока и одно пассивное заднее колесо, закрепленное в подшипниковой опоре с возможностью самопроизвольного поворота в соответствии с направлением движения платформы. Данная конструкция, приведенная на рис. 1, позволяет удобно управлять движением робота, с сохранением достаточного запаса его траекторной устойчивости.

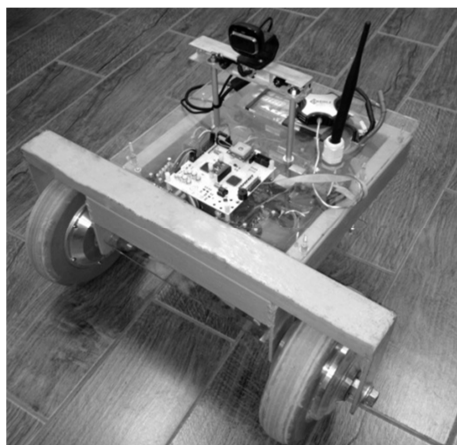


Рис. 1

Роботы, имеющие подобную конструкцию и оснащенные системой автономного управления их перемещениями в условиях сложной обстановки при помощи датчиков распознавания пре-

пятствий (технического зрения), могут применяться в сфере обслуживания, например на складских участках производства [1].

Программирование движения робота осуществляется поэтапно согласно иерархической структуре системы управления, приведенной на рис. 2 и включающей следующие компоненты:

- верхний уровень управления, представленный одноплатным компьютером;
- нижний уровень, представленный системой управления движением робота;
- датчики для получения информации об окружающем пространстве.

На вершине иерархии располагается одноплатный компьютер (блок 1 на рис. 2), выполненный на базе процессора Intel Celeron с установленной операционной системой Linux Mint. Информацию об окружающем пространстве робот получает с помощью системы стереозрения (блок 2) [2].

Управляющее воздействие передается с одноплатного компьютера на буферную плату управления (блок 3) по последовательному протоколу RS-232. Платы управления (блок 5) мотор-колесами (блок 6) получают задание с буферной платы управления, на которой установлено AVR микроконтроллера «Atmel Atmega 128 A» (блоки 4, 7), объединенных по протоколу I²C, а также датчики (блок 8). Первый микроконтроллер обрабатывает данные с датчиков и передает их на второй микроконтроллер, который формирует сигнал управления для мотор-колес, исходя из показаний датчиков и сигнала управления, поступающего с одноплатного компьютера верхнего уровня. Управление мотор-колесами осуществляется с помощью сигнала с широтно-импульсной модуляцией [3].

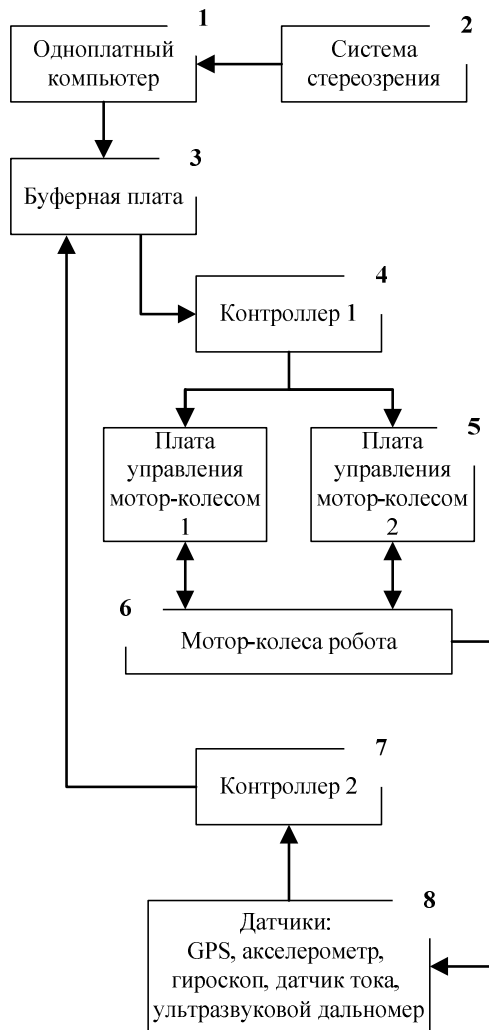


Рис. 2

Для ориентации в пространстве применяется стереокамера. Она заменяет использование отдельной камеры глубины для ориентации в пространстве и RGB-камеры для распознавания образов, совмещая их функционал в одном устройстве. Для работы с исходными изображениями, полученными с двух камер, применены алгоритмы Block Matching и Semi-Global Block Matching, которые показывают удовлетворительные результаты по критериям скорости и точности вычислений. Принцип их работы основан на поиске блоков пикселей с левого изображения на эпиполярной линии на правом изображении, и вычисления расстояния на основе разности координат блоков на двух изображениях [4]. Таким образом, можно создавать 3D-реконструкции окружающего пространства.

Рассмотрим модель движения робота на плоскости, приведенную на рис. 3, где приняты следующие обозначения: θ_1 и θ_2 – углы между вектором скорости $\mathbf{v}$ робота и линиями направления

расположения препятствия и точки назначения соответственно; P и L – расстояния до препятствия и цели соответственно; C – центр масс робота; ω_r и ω_l – угловые скорости вращения правого и левого колес соответственно.

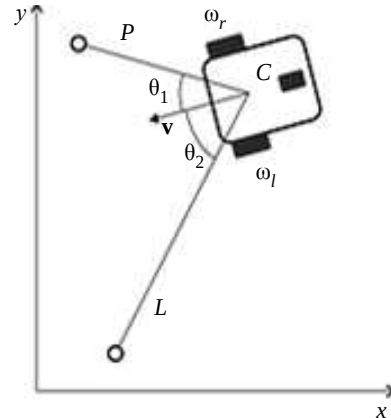


Рис. 3

При движении по незнакомой местности стереокамера помогает определять положение препятствий и расстояние до них. Проблема определения расстояния может быть решена также с помощью ультразвуковых дальномеров, расположенных по периметру корпуса робота и обеспечивающих вычисление расстояния до препятствий, расположенных во всех направлениях. Для достижения точки назначения робот должен динамически изменять свою траекторию, избегая столкновения с препятствиями и изменяя при этом свое пространственное положение и скорости ведущих колес. В целях проектирования системы управления предлагается использовать законы нечеткой логики для управления движением робота, исходя из его положения в пространстве, скоростей ведущих колес, а также угла наклона плоскости.

При появлении препятствия в зоне видимости робота система управления должна вырабатывать управляющее воздействие на изменение траектории движения робота с учетом направления движения, удаленности текущего положения робота от препятствия и расстояния до точки назначения. Если препятствие оказывается слишком близко, робот замедляет скорость движения и меняет пространственную ориентацию. Целью управления служит объезд препятствия по минимальному радиусу, позволяющему предотвратить столкновение с ним, минимизируя одновременно общую длину траектории движения до точки назначения [5].

Таким образом, поведение робота формулируется набором нечетких правил. Нечеткая система управления получает на вход информацию о расстоянии до препятствия P , угол между вектором скорости v робота и направлением расположения препятствия θ_1 , расстояние до препятствия L , угол между вектором скорости v робота и направлением точки назначения θ_2 . Выходными параметрами нечеткого регулятора должны быть разность угловых скоростей правого и левого колес $\Delta\omega = \omega_r - \omega_l$ и линейная скорость перемещения робота v . Углы приняты положительными, когда препятствие или точка назначения находятся по правому борту робота, и отрицательными в случае их наклонения по левому борту.

Обобщенная схема нечеткого регулятора приведена на рис. 4, где дополнительно введено обозначение угла наклона плоскости β .

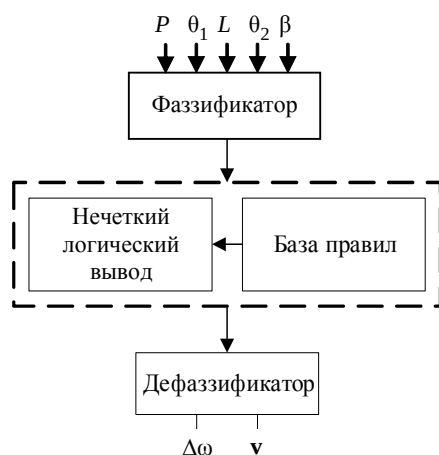


Рис. 4

Входные переменные нечеткого регулятора P и L (удаленность препятствия и точки назначения, соответственно) выражаются с использованием двух лингвистических переменных «близко» и «да-

леко». Углы θ_1 и θ_2 определяются лингвистическими переменными «слева» и «справа». Угол наклона β выражается тремя лингвистическими переменными: «положительный», «отрицательный» и «нулевой». Разность угловых скоростей левого и правого колес $\Delta\omega$ выражается переменными «поворот по часовой стрелке», «поворот против часовой стрелки» и «движение прямо». Линейная скорость v выражается переменными «малая» и «большая». Далее составляются нечеткие правила.

Пример траектории движения (на плоскости) робота представлен на рис. 5, где черным кружком обозначена точка назначения робота, белым – препятствие на пути его движения.

Действующий экспериментальный образец робота разработан и продемонстрирован на выставке «ВУЗПРОМЭКСПО-2015».

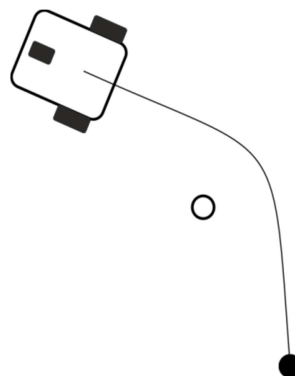


Рис. 5

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России – задания № 2014/187 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wurman P., D'Andrea R., Mountz M. Coordinating hundreds of cooperative, autonomous vehicles in warehouses // Proc. of the 19th nat. conf. on Innovative applications of artificial intelligence. 2007. Vol. 2 (IAAI'07) / Ed. by William Cheetham. AAAI Press. Vancouver, British Columbia Description. P. 1752–1759.
2. Kopichev M., Ignatiev K., Putov A. Control and stabilization system for unmanned aerial vehicles // Proc. of the 2nd IFAC Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS). Nov. 20–23, 2013. Compiegne, France. IFAC, Elsevier, 2013. P. 240–243.
3. Mobile manipulation platform control / V. Putov, A. Putov, K. Ignatiev, M. Kopichev, J. Asiedu-Baah // Intern. rev. of Automatic Control (IREACO). 2014. Vol. 7, № 4. P. 412–419.
4. Stereo vision using the OpenCV library / S. Droppe, M. Hueting, S. Latour, M. Van der Veen // URL: <https://tjpsstereovision.googlecode.com/hg-history/551f-9b6e2e9549337e7c26b4bac6a9a69a6c509c/doc/verslag.pdf>.
5. Путов В. В., Лебедев В. В., Козлов Ю. К. Адаптивно-нейронный подход в задачах повышения эф-

фективности двухкоординатных систем стабилизации и наведения / Вторая междунар. электрон. науч.-техн. конф. «Автоматизация и информатизация в

машиностроении» (АИМ 2001): сб. тр. Тула: Изд-во ТулГТУ, 2001. С. 240–242.

K. V. Ignatiev, A. V. Putov, M. M. Kopichev, V. V. Putov, N. A. Rusyaev
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

Deals with the construction of a two-level stand-alone computer fuzzy traffic control system three-wheeled robot with a technical vision. Designed valid experimental model of the robot demonstrated at the exhibition "VUZPROMEKSP-2015".

Fuzzy logic, autonomous control system, machine vision, mobile robot