

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ВДОЛЬ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЪЕКТА

К.А. Решетов¹⁾, Л.А. Горovenko²⁾

1) студент Армавирского механико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Армавир, Россия

2) к. техн. н., доцент, и. о. заведующего кафедрой общенаучных дисциплин Армавирского механико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Армавир, Россия, lgorovenko@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы проектирования беспилотного роботизированного устройства, способного перемещаться вдоль периметра здания с заранее неизвестной архитектурной компоновкой стеновых конструкций. Описан принцип определения траектории перемещения вдоль стены на основе использования ультразвуковых датчиков и с использованием релейного и Р-регуляторов.

Ключевые слова: беспилотный аппарат, роботизированное устройство, ультразвуковой датчик, релейный регулятор, Р-регулятор.

A METHOD FOR CONTROLLING THE MOVEMENT OF A ROBOTIC DEVICE ALONG THE WALL STRUCTURES OF AN ARCHITECTURAL OBJECT

Konstantin A. Reschetov¹⁾, Lyubov A. Gorovenko²⁾

1) the student Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, city of Armavir, Russia

2) Ph. D., associate Professor, Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, city of Armavir, Russia, lgorovenko@mail.ru

Annotation. The article discusses the issues of designing an unmanned robotic device capable of moving along the perimeter of a building with a previously unknown architectural layout of wall structures. The principle of determining the trajectory of movement along the wall based on the use of ultrasonic sensors and using relay and P-regulators is described.

Keywords: unmanned vehicle, robotic device, ultrasonic sensor, relay controller, P-controller.

В настоящее время использование роботизированных устройств во многих областях человеческой деятельности стало не только неотъемлемой частью действительности, но и необходимым условием человеко-машинного взаимодействия в тех, или иных ситуациях, условиях и областях деятельности.

Особое место среди роботизированных устройств занимают роботы, способные анализировать и реализовывать траекторию своего перемещения. Внутри помещений, на промышленных объектах роботы передвигаются вдоль монорельсов, по напольной колее и т. д. Для перемещения по наклонным или вертикальным плоскостям, по трубам используются системы, аналогичные «шагающим» конструкциям, но с вакуумными присосками.

Цель нашего исследования – разработать алгоритм и реализовать перемещение роботизированного устройства в соответствии с некоторыми заданными условиями, такими как перемещение по обозначенной траектории, в частности перемещение вдоль объекта с заранее неизвестной архитектурной конструкцией, иными словами – вдоль стены с произвольной кривизной.

Таким образом, была определена следующая задача исследования: пусть имеется робот, оснащённый датчиком ультразвука, и не очень ровная стена (с небольшими выступами и впадинами). Требуется разработать конструкцию робота, разработать способ перемещения и написать программу управления его движением вдоль стены на заданном расстоянии.

Не смотря на то, что образовательный конструктор Lego Mindstorms – это один из простейших вариантов реализации задач робототехники, мы всё-таки выбрали его в качестве инструмента реализации поставленной нами исследовательской задачи.

Для начала обсудим конструктивные особенности робота. Следует заранее продумать положение датчика ультразвука. Поскольку этот датчик достаточно «медленный», его следует располагать чуть впереди корпуса робота. Кроме этого, его следует сместить как можно дальше от стены (рис.1), потому что на малых расстояниях (5 - 7 см.) показания датчика ультразвука дают довольно большую погрешность. Экспериментальным путём мы установили, что направление датчика также следует подвергнуть корректировке.

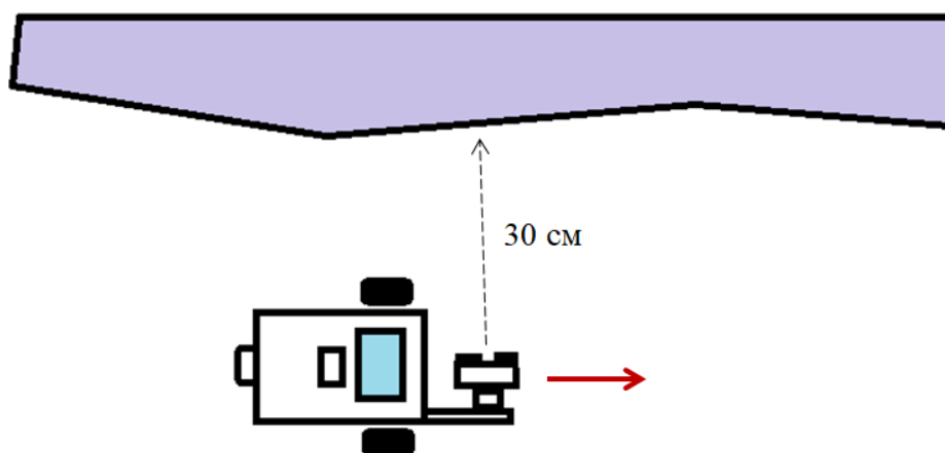


Рисунок 1. Первоначальный вариант расположения датчика ультразвука в конструкционной схеме робота

В ранних наших работах мы предлагали следующий достаточно эффективный алгоритм движения робота [1]. Записанный в словесной форме, он может быть примерно таким:

1. двигаться прямо;
2. если расстояние до стены больше заданного, то повернуть к стене;
3. если расстояние до стены меньше заданного, то повернуть от стены;
4. повторять шаги 2 - 3 бесконечно (либо до наступления некоторого события).

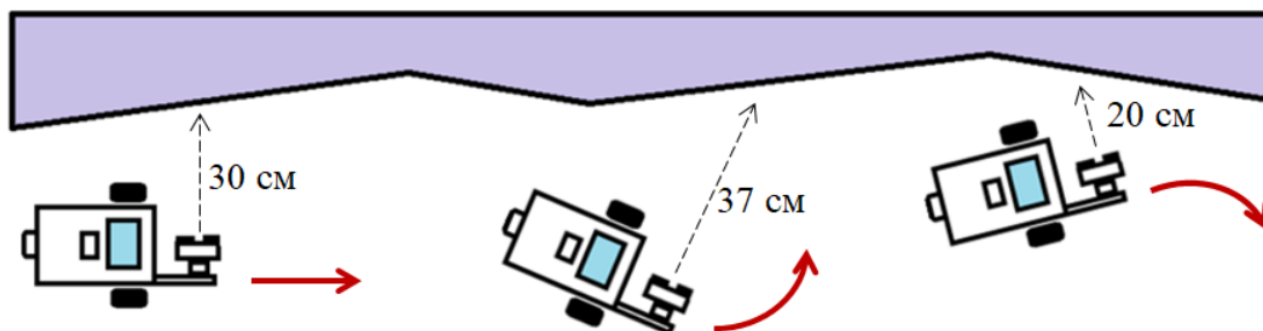


Рисунок 2. Иллюстрация алгоритма движения вдоль стены

Одним из самых очевидных решений этой задачи нам представляется релейный регулятор.

Реле в электротехнике - это замыкатель с автоматическим возвратом в исходное состояние (хотя существует множество других разновидностей). Другими словами, при превышении сигналом (например, током) некоторого предельного значения происходит замыкание реле. Как только ток снизится, реле размыкается. В нашем случае определение «релейный» по отношению к регулятору означает лишь то, что мы описываем поведение системы лишь для двух случаев: значение сигнала меньше заданного и больше заданного.

Программа реализации простейшего релейного регулятора представлена на рисунке 3.

Для определённости примем в качестве заданного расстояния 30 см.

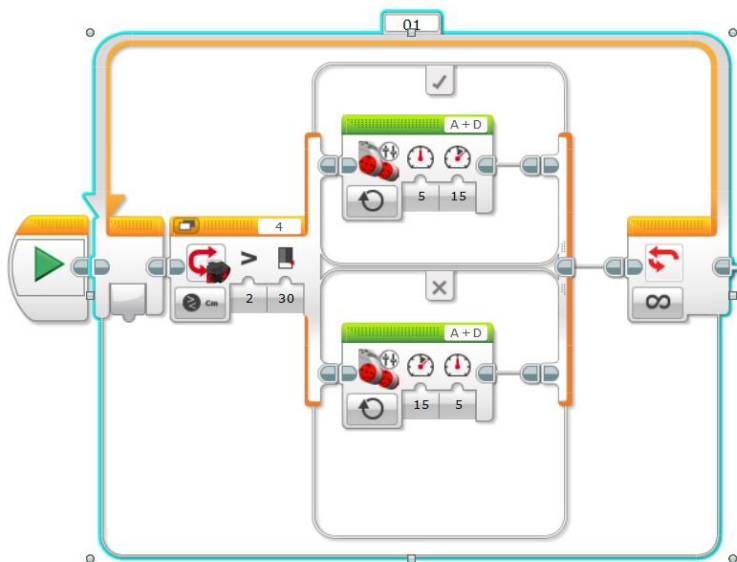


Рисунок 3. Программная реализация релейного регулятора

Как видно из текста программы, после включения обоих моторов запускается бесконечный цикл, в котором реализован вышеописанный словесный алгоритм. Хорошо заметной особенностью этого подхода является "рыскающее" движение: робот всегда поворачивает с одной и той же интенсивностью, независимо от того, насколько далеко или близко он оказался по отношению к стене. Поэтому траектория всегда будет зигзагообразной, так как во время поворотов робот всегда будет "прыгать" вокруг среднего значения 30 см. Так как датчик ультразвука является "медленным", в цикле можно использовать небольшую задержку (0,1 с) для того, чтобы показания датчика успевали обрабатываться блоком EV3.

Тестирование реализованного нами алгоритма показало следующие его недостатки. При использовании релейного регулятора возможны частые уходы робота с дистанции. Одна из причин состоит в том, что при выбранном нами расположении датчика ультразвука робот не сможет различать положения, симметричные относительно нормального положения. То есть два положения, показанные на рисунке 4, будут идентичными, и расстояние до стены в обоих случаях окажется больше 30 см. В соответствии со вторым шагом алгоритма робот должен повернуть к стене (влево). И если для второго положения это верно, то для первого - ошибочно: робот ещё больше уйдёт с заданной траектории.

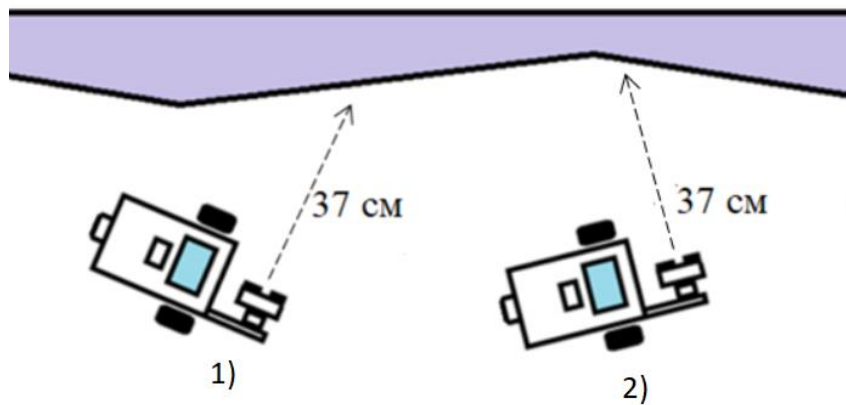


Рисунок 4. Ситуация, которая может вызвать ошибку в движении робота

Эту проблему можно решить, если расположить датчик не перпендикулярно к направлению движения, а под углом 45° к направлению движения (рисунок 5).

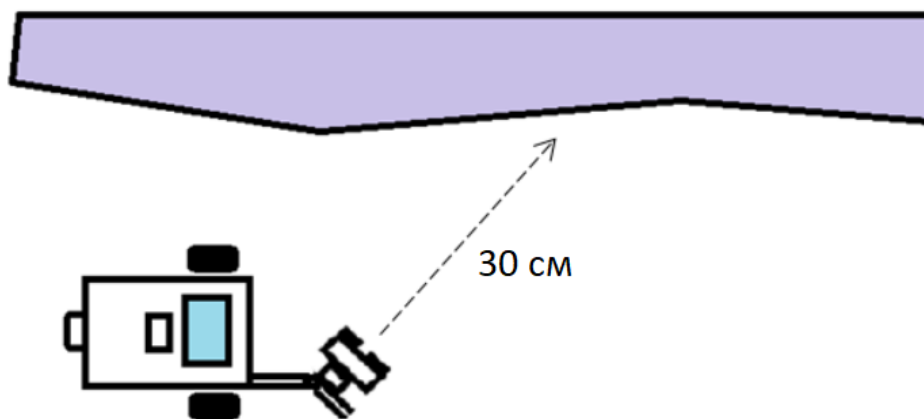


Рисунок 5. Разворот датчика ультразвука под углом 45° к направлению движения

Таким образом, нам удастся избежать случая, показанного на рисунке 4. Действительно, при «подруливании» влево расстояние до стены будет (при небольших углах поворота $< 45^\circ$) уменьшаться, а при поворотах вправо, наоборот, увеличиваться. Однако не стоит рассчитывать, что наш робот сможет проехать вдоль стены любой формы. Даже простой поворот на 90° может вызвать у него неожиданные трудности. Таким образом, наиболее значимым достоинством релейного регулятора в нашем случае является простота его алгоритма.

Очевидно, что описанные трудности использования релейного регулятора, требуют поиска более приемлемого решения задачи управления. Одним из вариантов является пропорциональный регулятор (или Р-регулятор). В этом случае управляющее воздействие на моторы робота не постоянно, как в релейном регуляторе, а изменяется пропорционально отклонению от заданного расстояния до стены. Другими словами, чем больше отклонение, тем активнее

должны работать моторы, выравнивая траекторию робота. В идеале робот должен ехать прямо, если датчик регистрирует заданное расстояние. При небольшом отклонении следует небольшое «подруливание». Если отклонение больше, то и «подруливание» больше. Алгоритм Р-регулятора является классическим в теории систем автоматического управления. Попробуем использовать его применительно к нашему устройству.

Для Р-регулятора управляющее воздействие $U(t)$ на моторы робота в момент времени t вычисляется по формуле:

$$U(t) = K_p \cdot E(t),$$

где $E(t) = X_0 - X(t)$ - отклонение робота от заданного положения (ошибка);

X_0 - заданное расстояние до стены (у нас 30 см);

$X(t)$ - текущее показание датчика;

K_p - усиливающий коэффициент (коэффициент пропорциональности). Всегда положительный.

Очевидно, графиком для расчёта управляющего воздействия U в зависимости от ошибки E будет прямая (рисунок 6):

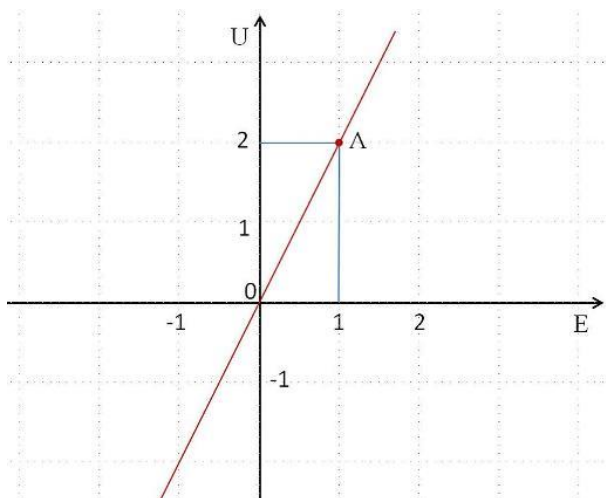


Рисунок 6. График для Р-регулятора: зависимость U от E

Из графика очень просто определить коэффициент K_p . Выберем произвольную точку на графике. В нашем случае это точка $A(1; 2)$. Тогда

$$K_p = \frac{U_A}{E_A} = \frac{2}{1} = 2.$$

Ошибка может быть как положительная (если мы ближе к стене, чем надо), так и отрицательная (если мы отъехали от стены дальше, чем необходимо). Таким образом, управляющее воздействие $U(t)$ тоже может быть как положительным, так и отрицательным.

Пусть мы имеем Р-регулятор для робота, движущегося вдоль стены. Тогда мощность моторов $MB(t)$ и $MC(t)$ в момент времени t вычисляется по формулам

$$MB(t) = Nm + U(t) \text{ и } MC(t) = Nm - U(t)$$

соответственно, где

- N_m - нормальная мощность моторов: мощность, с которой должны крутиться оба двигателя, если отклонение от курса равно нулю. В нашей программе можно положить, к примеру, $N_m = 50$;

- $U(t)$ - управляющее воздействие на моторы.

Знаки перед $U(t)$ для робота могут поменяться на противоположные в зависимости от того, какой мотор находится слева, а какой справа.

Рассмотрим смысл коэффициента пропорциональности K_p . Как видно, поворот производится в силу того, что от мощности одного мотора управляющее воздействие вычитается, тогда как к другому - прибавляется. Таким образом коэффициент K_p может усиливать или ослаблять воздействие регулятора на моторы: если он больше единицы, то происходит усиление, а если меньше - ослабление. Большой K_p сделает робот очень чутким к ошибкам, что приведёт к резким рывкам для исправления траектории. Малый K_p сделает движения робота плавнее, но на крутых поворотах робот может потерять стену и сойти с траектории. Конкретные значения коэффициента K_p , наиболее подходящие в каждом конкретном случае, будут зависеть от конструктивных особенностей робота, скорости движения (нормальной мощности), сложности трассы, используемых датчиков. Величины $M_B(t)$ и $M_C(t)$ должны лежать в диапазоне $[0; 100]$. Поэтому при больших ошибках (и, соответственно, больших управляющих сигналах) мощность моторов будет ограничиваться так, чтобы она не выходила из указанного диапазона. В этом случае пропорциональный регулятор не будет работать корректно, поскольку не сможет скомпенсировать большие ошибки.

Таким образом, одной из особенностей P-регулятора является адекватная работа только при небольших ошибках. Для того, чтобы учесть это в нашей задаче нужно иметь стену без резких поворотов и двигаться с небольшой скоростью.

Список использованных источников:

1. Горovenko Л.А., Ровенская О.П., Караченцев А.В., Решетов К.А. Управление движением робота с использованием ультразвукового датчика // Передовые технологические разработки: перспективы внедрения в производство и эффективность: материалы I Международной конференции студентов, аспирантов, преподавателей. – Армавир: РИО АГПУ, 2021. – 132 с.

2. Алексанян Г.А. LEGO MINDSTORMS EV3 как первый шаг в обучении программированию и робототехнике // Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием (25-26 апреля 2019 г.). – Армавир: РИО АГПУ, 2019. – С. 14-19.

3. Алексанян Г.А., Донос А.А. Основы робототехники и программирования на базе LEGO MINDSTORMS EV3 // ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ. РЕГИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ. СВЯЗЬ И АВТОМАТИКА (ПАРУСА-2019). Сборник трудов VIII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, в двух томах. 2019. С. 69-75.