

С.Г. Антощук, д-р техн. наук,
Е.П. Михайлов, канд. техн. наук,
Д.С. Киреев, О.И. Кирик

МЕТОДИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РОБОТА С ОПТИЧЕСКИМ ДАТЧИКОМ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

Подано методу розрахунку параметрів покажчика заданої траєкторії для переміщення робота LEGO у разі використання оптичного датчика. Враховувалися ширина покажчика, швидкість переміщення, час спрацьовування датчика і радіус закруглення. Наведено практичні рекомендації.

Представлена методика расчета параметров указателя заданной траектории для перемещения робота LEGO при использовании оптического датчика. Учитывались ширина указателя, скорость перемещения, время срабатывания датчика и радиус закругления. Приведены практические рекомендации.

A method for calculating the parameters of given trajectory pointer has been proposed to operate the movement of optic sensor controlled LEGO robot. The graphical width of the pointer, speed of the robot movement, sensor response delay and trajectory curvature radius have been taken into account. Some problematic issues arising in practice have been discussed.

В настоящее время во многих отраслях актуально использование роботизированных устройств. Роботы уже востребованы практически повсеместно – в армии, медицине, на производстве и в быту для выполнения ряда повседневных задач [1, 3].

Большое количество роботов являются мобильными, т.е. отличаются способностью самостоятельно перемещаться в рабочей среде; они предназначены для транспортирования грузов, проведения исследований и наблюдений в окружающем пространстве, выполнения различных работ (сельскохозяйственные, дорожностроительные, пожарные, горнодобывающие и др. роботы, передвижные платформы с манипуляционными механизмами). Для таких роботов важной задачей является управление движением, которое осуществляется за счет использования различных измерительных устройств, размещенных на роботе и составляющих его сенсорную систему.

Существует два подхода к управлению движением: программный и контурный (траекторный) [1]. Программное управление движением робота основывается на принципах построения следящих систем, а контурное предполагает использование текущих

значений отклонений от заранее заданной траектории. Для перемещения робота по заданной траектории внутри помещения могут использоваться различные типы датчиков. Например, индуктивные датчики применяются для перемещения вдоль металлической полосы, а оптические (датчики цвета или уровня освещенности) – для перемещения вдоль цветных или контрастных полос. В данной статье решается задача управления движением, которая заключается в стабилизации движения робота относительно заданной траектории и поддержании требуемой скорости перемещения.

Чтобы проверить предложенную методику, был использован набор для моделирования, разработанный фирмой LEGO Mindstorms NXT [2,4,5]. Этот набор состоит из большого числа деталей, что позволяет сконструировать разные модели робототехнических устройств. В настоящее время он широко используется в учебных курсах, связанных с управлением роботами. Для моделирования перемещения робота с оптическим датчиком по заданной траектории была собрана тележка на гусеничном ходу с раздельными двигателями для правой и левой гусениц (рис. 1). Тестовая траектория представляла собой черную линию (контур) на белом (фон). Форма тестовой траектории – эллипс.



Рис. 1. Перемещение по контуру

При такой постановке задачи управления движением робота по заданной траектории в качестве измерительного устройства может быть использован датчик цвета (для переключения направления движения определяется цвет контура) или датчик уровня освещенности (в зависимости от степени отклонения от заданной траектории при переходе с черного контура на белый фон плавно меняется значение уровня освещенности). Поскольку во втором случае возможно изменение радиуса поворота в зависимости от изменения уровня освещенности, то для перемещения тележки по контуру был использован датчик уровня освещенности.

Для перемещения по контуру использовался алгоритм на основе зависимости, приведенной в [5],

$$M_R = M_N - k(L_M - L);$$

$$M_L = M_N + k(L_M - L),$$

где M_R – относительная мощность правого двигателя; M_N – относительная номинальная мощность, определяющая скорость перемещения по прямой линии; k – коэффициент пропорциональности; L_M – пороговое значение, определяющее границу между белым и черным; L – текущее значение датчика; M_L – относительная мощность левого двигателя.

$$L_M = (L_W + L_B)/2,$$

где L_W – уровень освещенности для белого цвета; L_B – уровень освещенности для черного цвета.

Если показание интенсивности освещенности L_M , то множители в скобках равны, а правый и левый двигатели совершают движение в одном направлении с одинаковой

номинальной скоростью (мощность равна M_N). Если интенсивность освещенности меньше L_M , то соответственно уменьшается скорость (мощность) правого двигателя и увеличивается скорость левого двигателя, а если интенсивность освещенности больше L_M , то наоборот. Степень влияния отклонения уровня освещенности от порогового значения определяется коэффициентом пропорциональности k . Если указатель траектории (в данном случае черная полоса) представляет собой прямую линию, то тележка также будет перемещаться по прямой линии.

В случае необходимости поворота используется указатель в виде дуги окружности. При этом возможны два варианта: поворот в сторону контура перемещения (рис. 2) и поворот в сторону, противоположную от контура перемещения (рис. 3).



Рис. 2. Указатель движения для поворота в виде дуги в сторону контура перемещения

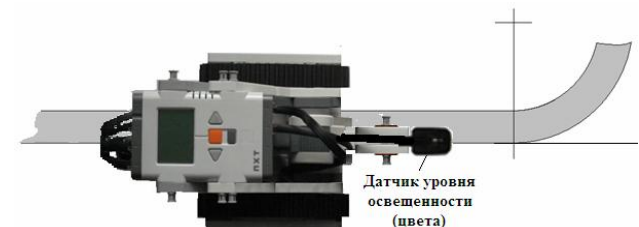


Рис. 3. Указатель движения для поворота в виде дуги в сторону противоположную от контура перемещения

В первом случае, если ширина указателя r ограничена, то при повороте направо из-за временной задержки между опросами датчика, которая определяется временем срабатывания датчика и периодичностью опроса датчика в программе, может возникнуть ситуация, когда датчик не успеет сработать на линии указателя. Если к моменту поворота тележка перемещается по прямой линии контура, то расстояние, на котором должен

сработать датчик с учетом параметров линии, определяется следующей зависимостью:

$$R^2 + l^2 = (R + r)^2;$$

где R – минимальный радиус кривизны поворота линии; l – расстояние, которое проходит тележка при максимальной скорости перемещения тележки v_{max} за время t_s между двумя опросами датчика с учетом расстояния d , необходимого для определения нахождения на черной линии; r – ширина указателя.

В этом случае при заданном радиусе кривизны R и значении l , необходимом для срабатывания датчика, получим следующую зависимость для определения минимальной ширины линии указателя:

$$r = \sqrt{R^2 + l^2} - R.$$

Если максимальная скорость перемещения тележки v_{max} , время срабатывания датчика t_s , а расстояние, необходимое для срабатывания датчика на указателе, d (область срабатывания датчика) (см. рис. 4), то получим

$$l = v_{max} t_s + d.$$

Отсюда

$$r = \sqrt{R^2 + (v_{max} t_s + d)^2} - R.$$

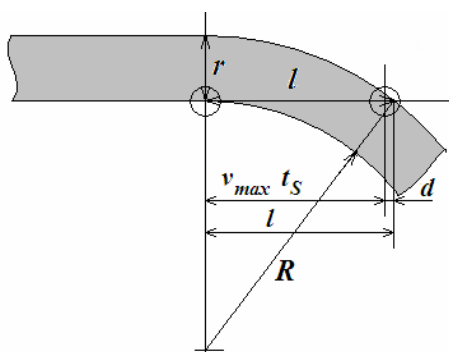


Рис. 4. Иллюстрация зависимость ширины указателя от скорости перемещения, времени срабатывания датчика и радиуса закругления траектории

При повороте в сторону, противоположную от контура перемещения, отклонение от траектории зависит от радиуса закругления указателя, радиуса поворота тележки, а также от расположения центра окружности, определяющей радиус поворота тележки (рис. 5), т.е. чем больше радиус поворота те-

лежки, тем больше степень отклонения от траектории перемещения при выходе на область фона при перемещении на расстояние l_1 за время между двумя опросами датчика.

Расстояние, необходимое для срабатывания датчика на повороте, определяется выражением

$$l_1 = v_{max} t_s.$$

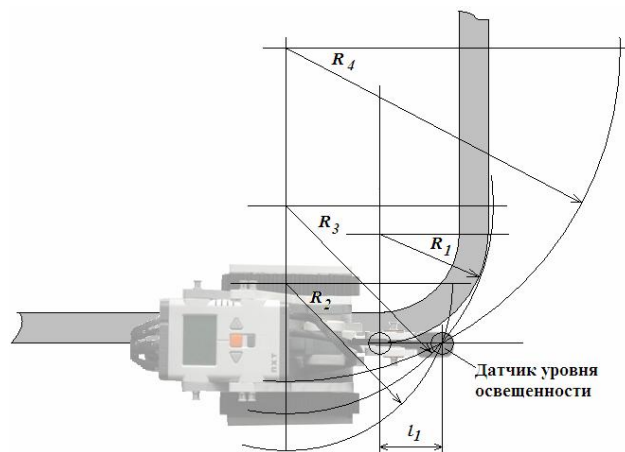


Рис. 5. Иллюстрация отклонения траектории от указателя в зависимости от радиуса поворота тележки

Начальный радиус при повороте тем меньше, чем больше степень отклонения показаний датчика от порогового значения. Минимальным он будет в том случае, когда датчик полностью перейдет на область фона (рис. 6).

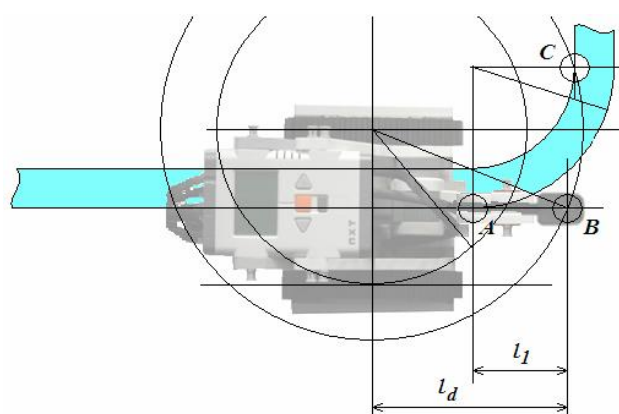


Рис. 6. Иллюстрация ошибки срабатывания указателя при повороте в сторону, противоположную от контура перемещения

В этом случае минимальная ширина указателя r зависит от расстояния BC , которое проходит датчик при повороте за время ме-

жду двумя опросами. Проведенные эксперименты показывают, что практические и расчетные результаты могут значительно отличаться из-за возможного скольжения тележки на повороте. Кроме этого, периодичность опроса датчика зависит как от времени его срабатывания, так и от алгоритма опроса датчиков и управления приводами.

Была разработана программа для определения времени срабатывания датчика и задержки, вызванной изменением режима работы двигателей. Для определения времени срабатывания датчика осуществлялся запуск тележки с остановкой по срабатыванию датчика для различных скоростей перемещения. Максимальная и минимальная скорость составили соответственно 0,27 и 0,015 м/с. Смещение точки остановки на максимальной скорости относительно точки остановки на минимальной скорости позволило определить время срабатывания датчика, которое составило 8 мс. Это соответствует времени срабатывания промышленных оптических датчиков.

Чтобы определить общую задержку при использовании светового датчика, для изменения режима работы двигателя использовалась программа переключения правого и левого двигателей в зависимости от уровня освещенности. Полученная при этом траектория перемещения тележки приведена на рис.7. При этом по программе фиксировалось количество циклов опроса датчика. За исследуемый отрезок времени 5 с было выполнено 1359 циклов опроса датчика и 29 переключений двигателей. Таким образом, задержка за счет переключения режима работы двигателей составила 172 мс.

Для проверки приведенных выше зависимостей была использована траектория с радиусом кривизны $R=80$ мм, шириной указателя $r=18$ мм, расстоянием $d=12$ мм. Величина l , необходимая для срабатывания датчика, составила 57 мм. Скорость перемещения в этом случае не должна превышать 0,26 м/с. Реальная максимальная скорость составила 0,2...0,25 м/с, что было связано со смещением порогового значения из-за изменения внешнего уровня освещенности.

Таким образом, недостатком датчика из-

мерения интенсивности освещенности является зависимость его показаний от уровня внешней освещенности.

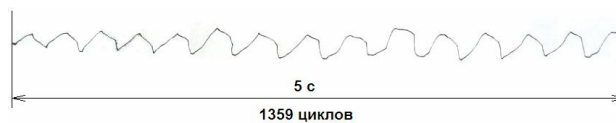


Рис. 7. Траектория перемещения тележки при переключении правого и левого двигателей в зависимости от уровня освещенности

Для устранения указанного недостатка можно использовать датчик цвета, но в этом случае переключение скорости будет скачкообразным, а траектория движения по прямой линии будет колебательной из-за постоянного изменения направления движения. Для прямолинейного движения можно использовать трехцветный указатель. В этом случае при нахождении датчика на среднем цвете тележка движется прямо. При переходе датчика на цвет, находящийся слева по ходу движения, включается поворот направо, а при переходе на цвет, находящийся справа по ходу движения, включается поворот налево (рис. 8).

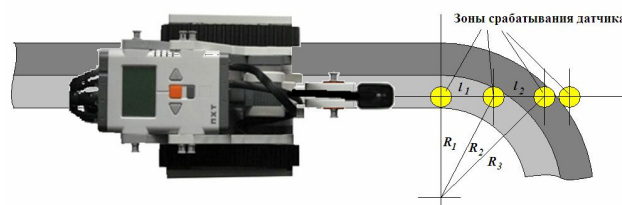


Рис. 8. Перемещение по траектории с трехцветным указателем

Расстояние l_2 , необходимое для срабатывания датчика, связано с радиусами кривизны R_1 , R_2 и R_3 :

$$l_2 = \sqrt{R_3^2 - R_1^2} - \sqrt{R_2^2 - R_1^2},$$

где $l_2 = v_{\max} t_s$.

Очевидно, что расстояние l_2 , зависит от скорости и времени срабатывания датчика, как и в предыдущем случае.

Экспериментальная проверка показала

меньшую (примерно на 50 %) зависимость максимальной скорости перемещения от уровня освещенности.

Таким образом, разработана методика управления движением робота по заданной траектории. Получены алгоритмы определения параметров контура, обеспечивающие перемещение робота с заданными скоростью и точностью. В результате проведенного моделирования определены рациональные параметры скорости и достижимой точности перемещения. Методика апробирована в лабораторном практикуме студентов соответствующих специальностей. На практике она может быть использована для различных типов гусеничных и колесных роботов.

Список использованной литературы

1. Асфаль Р. Роботы и автоматизация производства / Р Асфаль // Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1989. – 448 с.
2. Белиовская Л.Г. Прографируем микроконтроллер NXT в LabVIEW / Л.Г. Белиовская, А.Е. Белиовский // – М.: ДМК Пресс; 2010. – 280 с.: ил. + DVD.
3. Фу К. Робототехника / К. Фу, Р. Гонсалес, К.Ли // Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 624 с.
4. Dave Astolfo, Mario Ferrari, Giulio Ferrari. Building robots with Lego Mindstorms NXT. Syngress Publishing, 2007. – 481.
5. James Floyd Kelly. Lego Mindstorms NXT: The Mayan Adventure. Apress, 2006. – 331.

Получено 14.02.2011



Антощук
Светлана Григорьевна,
д-р техн. наук, проф.,
директор Ин-та компьют.
систем, зав. каф. Информ.
систем Одесск. нац. политехн. ун-та
+38048-7348-584
asg@ics.opu.ua



Михайлов
Евгений Павлович,
канд. техн. наук, доцент
каф. Подъемно-
транспорт. и робототех-
нич. оборудования
Одесск. нац. политехн.
ун-та
ermix@mail.ru



Кирик
Оксана Игоревна,
инженер каф. Информ.
систем Одесск. нац.
политехн. ун-та
oksanakyryk@gmail.com



Киреев
Денис Сергеевич,
студент каф. Подъемно-
транспортного и робото-
технического оборудова-
ния Одесск. нац. поли-
техн. ун-та