Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-1>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/08TVN115.pdf>

DOI: 10.15862/08TVN115 (<http://dx.doi.org/10.15862/08TVN115>)

УДК 681.5

Поезжаева Елена Вячеславовна

ПНИПУ «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь¹
Кандидат технических наук, профессор

Васенин Александр Сергеевич

ПНИПУ «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь
Аспирант
E-mail: vaseninalexandr@yandex.ru

Шумков Арсений Геннадьевич

ПНИПУ «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь
Аспирант
E-mail: arsars1995@bk.ru

Определение оптимальной траектории движения манипулятора робота, предназначенного для предрейсового осмотра автомобилей большой грузоподъемности

¹ 614990, Пермский край, г. Пермь - ГСП, Комсомольский проспект, д. 29

Аннотация. Обслуживание и предрейсовый осмотр автомобилей большой грузоподъемности занимают значительный промежуток времени. Вместе с тем, при наличии большого парка автомобилей на предприятии, мастер, осуществляющий предрейсовый осмотр автомобилей, несет большую ответственность за исправное состояние автомобиля. Из-за большого числа автомобилей объем работы мастера увеличивается, возрастает персональная нагрузка. В связи с этим нельзя исключать влияние человеческого фактора на определение исправного состояния автомобиля – мастер может не заметить признаки неисправности системы автомобиля, в первую очередь, тормозной системы и системы рулевого управления, а также системы питания двигателя. Неисправность вышеназванных систем может привести к потере контроля над автомобилем при движении, к созданию аварийной ситуации на дороге. Для минимизации ошибок контролирующего мастера и увеличения пропускной способности предприятия предложен проект робота, осуществляющий предрейсовый осмотр автотранспорта большой грузоподъемности. Робот предназначен для диагностирования подвески автомобиля посредством ультразвука; камера, установленная на манипуляторе, позволит оператору оценить состояние амортизаторов, пневмобаллонов, наличие утечек из картеров мостов, топливной системы, системы смазки двигателя. При этом манипулятор робота должен иметь высокую точность для безошибочного выполнения операций. Оптимальные траектории движения звеньев манипулятора могут быть найдены из уравнений динамики, а также посредством метода динамического программирования.

Ключевые слова: диагностика подвески; колесное шасси; маневренность; манипулятор; ультразвук; камера; оптимальная траектория; динамическое программирование; принцип Беллмана; дискретизация скорости.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Поезжаева Е.В., Васенин А.С., Шумков А.Г. Определение оптимальной траектории движения манипулятора робота, предназначенного для предрейсового осмотра автомобилей большой грузоподъемности // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/08TVN115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/08TVN115

Предрейсовый осмотр автомобилей является наиболее важной составляющей эксплуатации автомобиля, так как именно он может выявить неисправности транспортного средства, которое готово к отправке в рейс [4]. Все системы автомобилей большой грузоподъемности должны функционировать в штатном режиме, иначе может возникнуть аварийная ситуация, последствия которой трудно предугадать. Снижения влияния человеческого фактора автомобиля можно добиться роботизированным контролем определения технического состояния. Для этой цели спроектирован робот, который сможет заменить мастера, проводящего предрейсовый осмотр автомобилей.

Робот спроектирован на колесном шасси, которое обеспечивает маневренность и хорошую проходимость робота, а так же скорость перемещения [1]. На роботе установлен манипулятор, выполняющий следующие функции:

- датчик ультразвука позволяет обнаружить микротрещины в подвеске автомобиля: рессорах, рычагах, стяжках, реактивных тягах, а также в раме [6].
- камера, установленная на манипуляторе, обеспечивает передачу изображения, позволяет визуально оценить состояние амортизаторов либо жидкости из системы охлаждения, подтекание смазки из картеров мостов, состояние пневмобаллонов подвески [5].
- светодиодный фонарь обеспечивает освещение диагностируемых элементов.

Определенную трудность вызывает формирование правильной траектории манипулятора для точного его позиционирования в пространстве.

Проблема формирования оптимальной траектории может быть сформулирована как задача оптимального управления [7]. Для динамической системы

$$\dot{x} = f(x(t), u(t))$$

с начальным состоянием $x(t_0) = x_0$ и конечным состоянием $x(t_f) = x_f$ при заданном или свободном времени окончания процесса **требуется** найти управление $u(t)$ и соответствующее состояние $x(t)$, оптимизирующие показатель качества $J = K(x(t_f), t_f) + \int_0^{t_f} L(x(t), u(t))dt$.

При планировании **оптимальных траекторий движения** манипулятора используются уравнения **кинематики**

$$p = \psi(q), p \in R^n, \psi: R^n \Rightarrow R^n$$

и динамики

$$M(q)\ddot{q} + h(q, \dot{q}) = u, u \in R^n,$$

где p – вектор, представляющий положение рабочего органа манипулятора в декартовой системе координат; q – вектор, представляющий перемещения в степенях подвижности манипулятора [8]. В качестве управления u рассматриваются развиваемые приводами в степенях подвижности силы и моменты. Начальное состояние определяется равенствами $p(t_0) = p_0$ и $\dot{p}(t_0) = 0$. В конечный момент $p(t_f) = p_f$ и $\dot{p}(t_f) = 0$. Ограничения вида равенств $q(p) = 0$ определяют требуемую геометрическую траекторию. Ограничения вида неравенств устанавливают пределы изменения развиваемых приводами сил (моментов) и скоростей:

$$\begin{aligned} v(q, \dot{q}) &\leq u \leq w(q, \dot{q}) \\ r(q) &\leq \dot{r} \leq s(q) \end{aligned}$$

Для решения поставленной задачи предложено использовать метод динамического программирования. Такой подход позволяет получить универсальный алгоритм формирования оптимальных траекторий при различных ограничениях и показателях качества. Облегчает использование метода то обстоятельство, что при заданной геометрической траектории положение в одной степени подвижности определяет положения в остальных. В результате существенно снижается размерность задачи [2].

Пусть k - индекс дискретной точки на заданной геометрической траектории. Для заданного в декартовых координатах положения рабочего органа в точке k путем решения обратной задачи кинематики манипулятора можно определить соответствующие обобщенные координаты $q(k)$. Пусть $Y_i(k)$ - множество возможных скоростей движения в степени подвижности i в точке k , которое получается путем дискретизации диапазона скоростей

$$r_j(q(k)) \leq \dot{q}_i(k) \leq s_i(q(k))$$

В том случае, когда ограничения скорости не указаны, ее предельные значения могут быть получены из ограничений сил (моментов). Рассмотрим переход манипулятора из точки k , в точку $k + 1$. Предполагается, что величина перемещения мала, а ускорение постоянно [10]. Для возможной скорости $\dot{q}_i(k) \in Y_i(k)$ и допустимой скорости $\dot{q}_i(k+1)$ ускорение движения в сочленении i в точке k определяется выражением:

$$\ddot{q}_i(k) = \frac{[\dot{q}_i(k+1)]^2 - [\dot{q}_i(k)]^2}{2[q_i(k+1) - q_i(k)]}$$

и время перехода между двумя точками

$$\Delta t(k) = \frac{2[q_i(k+1) - q_i(k)]}{2[\dot{q}_i(k+1) + \dot{q}_i(k)]}$$

Поскольку перемещение в следующую точку для всех степеней подвижности должно завершаться за один и тот же временной интервал, можно определить скорости движения в остальных степенях подвижности в точке k как

$$\dot{q}_j(k) = 2[q_{j(k+1)} + q_j(k)] / \Delta t(k) - \dot{q}_j(k+1)$$

Если какая-либо из скоростей $\dot{q}_j(k), [j = 1, 2, \dots, n, j \neq i]$ не удовлетворяет ограничениям для скоростей, то скорость $\dot{q}_i(k)$ считается недопустимой. Если же все скорости удовлетворяют ограничениям, то для каждой степени подвижности вычисляется ускорение. Далее по полученным значениям перемещений, скоростей и ускорений вычисляются силы (моменты), которые необходимо приложить в степенях подвижности для выполнения перемещения из точки k в $k+1$. Если при этом оказывается, что какая-либо из сил (моментов) выходит за допустимые пределы, то скорость $\dot{q}_i(k)$ также полагается недопустимой [9].

Пусть $\Phi(\dot{q}_i(k), k)$ обозначает приращение показателя качества при перемещении между точками k и $k + 1$ и $J^0(\dot{q}_i(k), k) = 0$ обозначает наименьшее значение показателя качества при переходе из k - той точки в конечное состояние. Используя принцип оптимальности Беллмана, можно получить

$$\Phi(\dot{q}_i(k), k) = \min_{\dot{q}_i(k+1) \in Z_i(k+1)} \{ \Phi(\dot{q}_i(k), k) + J^0(\dot{q}_i(k+1), k+1) \},$$

где $Z_i(k+1)$ - множество допустимых скоростей в точке $k+1$. Это уравнение применяется к каждой допустимой скорости в точке k и позволяет для каждой скорости найти единственную оптимальную скорость в точке $k + 1$ и скорости в остальных степенях подвижности, а также силы (моменты), соответствующие оптимальным условиям в точке k . Оптимизационный процесс начинается в конечном состоянии и распространяется в направлении начала [1].

Таким образом, точность траектории зависит от разрешающей способности при дискретизации скорости. Увеличение числа уровней дискретизации позволяет повысить точность решения, но существенно удлиняет продолжительность вычислений. Метод может быть использован для увеличения точности позиционирования манипулятора предложенного робота в пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поезжаева Е.В. Промышленные роботы: учеб.пособие: в 3ч. / Е.В. Поезжаева. – Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2009. – Ч.2. – 185 с.
2. Проблемы механики современных машин: Материалы V международной конференции. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012. – Т. 3. – 276с., ил. – Поезжаева Е. В., «Шагающий робот с контурной системой управления», с.227.
3. Поезжаева Е. В., Васенин А. С., Шумков А. Г. Роботизация фермерских хозяйств по обработке растений // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2014. № 3. С. 59-62
4. Хабибуллин Р.Г., Макарова И. В., Мухаметдинова Л. М., Шакирова Д. Ю., Козадаев Р. А. Разработка методов повышения эффективности системы фирменного сервиса грузовых автомобилей // Журнал Автотранспортное предприятие. 2011. №8. С. 40-42
5. Тетерина И. А. Тенденции развития рынка грузовых автомобилей и автосервисных услуг // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2014. №5. С. 39-44
6. Бурмистров В.А. Корректирование режимов технического обслуживания грузовых автомобилей // Журнал Современные проблемы науки и образования. 2014. №1 с.184
7. Герасун В.М., Пындак В.И., Несмиянов И.А., Дяшкин-Титов В.В., Павловский В. Е. Манипуляторы для мобильных роботов. Концепции и принципы проектирования // Журнал Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2012. №44. С. 1-24
8. Новалов А.А., Кирюнин С.В., Павлова А.Н. Методы расчёта параметров управления манипуляторами // Вестник НПО ИМ. С.А. Лавочкина. 2013. №1. С. 44-51
9. Елисеев С.В., Бутырин С.А., Рудых Г.А. Учет динамических факторов в задачах управления манипуляторами // Журнал Проблемы машиностроения и надежности машин. 1983. №3. С. 38-44
10. Лутманов С.В., Куксенюк Л.В., Попова Е.С. Задачи управления двухзвенным манипулятором с вращательными кинематическими парами // Журнал фундаментальные исследования. 2013. №6-4. С. 886-891

Рецензент: Путин Константин Георгиевич, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Автодорожный факультет, преподаватель кафедры АиТМ, кандидат технических наук.

Poezzhaeva Elena Vyacheslavovna

PNIPU "Perm National Research Polytechnic University"
Russia, Perm
Ph.D., Professor

Vasenin Aleksandr Sergeevich

PNIPU "Perm National Research Polytechnic University"
Russia, Perm
Aspirant
E-mail: vaseninalexandr@yandex.ru

Shumkov Arsenij Gennad'evich

PNIPU "Perm National Research Polytechnic University"
Russia, Perm
Aspirant
E-mail: arsars1995@bk.ru

The robot for pretrip survey of cars of big loading capacity

Abstract. Service and pretrip survey of cars of big loading capacity occupy a considerable period. At the same time, in the presence of big park of cars at the enterprise, the master who is carrying out pretrip survey of cars bears heavy responsibility for a working order of the car. Because of a large number of cars the volume of work of the master increases, personal loading increases. In this regard it is impossible to exclude influence of a human factor on definition of a working order of the car – the master can not notice signs of malfunction of system of the car, first of all, of brake system and system of a steering, and also engine power supply systems. Malfunction of the above-named systems can lead to loss of control over the car at the movement, to creation of an emergency on the road. For minimization of mistakes of the controlling master and increase in capacity of the enterprise the project of the robot which is carrying out pretrip survey of motor transport of big loading capacity is offered. The robot is intended for diagnosing of a suspension bracket of the car by means of ultrasound; the camera installed on the manipulator will allow the operator to estimate a condition of shock-absorbers, pneumocylinders, existence of leaks from cases of bridges, fuel system, the lubrication system of a lvigatel. Thus the manipulator of the robot has to have high precision for faultless performance of operations. Optimum trajectories of the movement of links of the manipulator can be found from dynamics equations, and also by means of a method of dynamic programming.

Keywords: diagnostics of a suspension bracket; wheel chassis; maneuverability; manipulator; ultrasound; camera; optimum trajectory; dynamic programming; Bellman's principle; sampling of speed.

REFERENCES

1. Poezhaeva E.V. Promyshlennyye roboty: ucheb.posobie: v 3ch. / E.V. Poezhaeva. – Perm': Izd-vo Perm. gos. tekhn. un-ta, 2009. – Ch.2. – 185 s.
2. Problemy mekhaniki sovremennykh mashin: Materialy V mezhdunarodnoy konferentsii. – Ulan-Ude: Izd-vo VSGUTU, 2012. – T. 3. – 276s., il. – Poezhaeva E. V., «Shagayushchiy robot s konturnoy sistemoy upravleniya», s.227.
3. Poezhaeva E. V., Vasenin A. S., Shumkov A. G. Robotizatsiya fermerskikh khozyaystv po obrabotke rasteniy // Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniya. 2014. № 3. S. 59-62
4. Khabibullin R.G., Makarova I. V., Mukhametdinova L. M., Shakirova D. Yu., Kozadaev R. A. Razrabotka metodov povysheniya effektivnosti sistemy firmennogo servisa gruzovykh avtomobiley // Zhurnal Avtotransportnoe predpriyatie. 2011. №8. S. 40-42
5. Teterina I. A. Tendentsii razvitiya rynka gruzovykh avtomobiley i avtoservisnykh uslug // Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii. 2014. №5. S. 39-44
6. Burmistrov V.A. Korrektirovanie rezhimov tekhnicheskogo obsluzhivaniya gruzovykh avtomobiley // Zhurnal Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. №1 s.184
7. Gerasun V.M., Pyndak V.I., Nesmiyanov I.A., Dyashkin-Titov V.V., Pavlovskiy V. E. Manipulyatory dlya mobil'nykh robotov. Kontseptsii i printsipy proektirovaniya / / Zhurnal Preprinty IPM im. M.V. Keldysha. 2012. №44. S. 1-24
8. Novalov A.A., Kiryunin S.V., Pavlova A.N. Metody rascheta parametrov upravleniya manipulyatorami // Vestnik NPO IM. S.A. Lavochkina. 2013. №1. S. 44-51
9. Eliseev S.V., Butyrin S.A., Rudykh G.A. Uchet dinamicheskikh faktorov v zadachakh upravleniya manipulyatorami // Zhurnal Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. 1983. №3. S. 38-44
10. Lutmanov S.V., Kuksenok L.V., Popova E.S. Zadachi upravleniya dvukhzvennym manipulyatorom s vrashchatel'nymi kinematicheskimi parami // Zhurnal fundamental'nye issledovaniya. 2013. №6-4. S. 886-891