

УДК 517.977.5

ОБ УПРАВЛЕНИИ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ СОБСТВЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Е.С. Брискин

Волгоградский государственный технический университет
Россия, 400005, Волгоград, Ленина пр., 28
E-mail: dtm@vstu.ru

Я.В. Калинин

Волгоградский государственный технический университет
Россия, 400005, Волгоград, Ленина пр., 28
E-mail: jkv83@mail.ru

Н.Г. Шаронов

Волгоградский государственный технический университет
Россия, 400005, Волгоград, Ленина пр., 28
E-mail: sharonov@vstu.ru

Ключевые слова: мобильный робот, способность к самоуправлению, критерий оптимальности, управление движением.

Аннотация: Рассматривается метод определения и измерения способности мобильного робота к самоуправлению. Используется пространство показателей качества движений. Исследуется влияние показателей качества и способности к самоуправлению на уравнения оптимального движения робота.

1. Введение

Среди многих методов управления техническими объектами, вообще, и мобильными роботами, в частности, наиболее часто упоминается метод интеллектуального управления [1-3]. Это обусловлено отсутствием его однозначного определения. Поэтому различные авторы в это понятие вкладывают различный смысл.

Одно из свойств такого управления среди многих альтернативных, состоит в самостоятельном выборе роботом оптимального режима движения [1, 2]. Для определения оптимального режима движения необходимо иметь критерий оптимальности и использовать один из методов оптимизации. Здесь возможно применение классических методов вариационного исчисления [4], метода Понтрягина [5], динамического программирования [6], а также сравнительно недавно разработанных методов, основанных на нечеткой логике [7], генетических алгоритмах, нейронных сетях и др.

Таким образом, основным признаком такого управления является самостоятельный выбор роботом оптимальности действия (движения), которое может отличаться для различных мобильных роботов и даже для роботов с одной кинематической схемой (структурой), массово-геометрическими параметрами и энергетическими характеристиками, а зависит только от характерных способностей к самоуправлению.

2. Критерий оптимальности. Способность к самоуправлению

Способность к самоуправлению обеспечивается соответствующим программным обеспечением и информационно-измерительной системой, а проявляется в оценке, как окружающей среды и своих возможностей, так и последующими действиями в соответствии с собственными ранжированными показателями качества этих действий. К показателям качества действия (движения) мобильного робота при его перемещении из одного положения в другое могут относиться: время движения τ , пройденный путь центра масс S , его максимальные V_{\max} , a_{\max} или среднеквадратичные V_{σ} , a_{σ} скорость или ускорение, энергозатраты W и др. Для их ранжирования следует ввести безразмерные показатели, характеризующие эти физические характеристики, H_j ($j=1, N$), где N – количество учитываемых показателей. Тогда критерием оптимальности действия (движения) мобильного робота является функция U , зависящая от введенных показателей H_j

$$(1) \quad U = U(H_1, H_2, \dots, H_N)$$

и определенная с точностью до постоянной.

В общем случае, среди показателей могут быть и не связанные непосредственно с движением, например, показатель характеризующий успешность обучения робота (накопление базы знаний), показатель идентификации постороннего объекта и др.

Каждый из показателей вычисляется на основе законов функционирования роботов, в частности для мобильных роботов на основе законов движения. Например, показатель H_a , характеризующий квадрат среднеквадратичного ускорения центра масс при прямолинейном движении

$$(2) \quad H_a = \frac{1}{g^2 \tau} \int_0^{\tau} \ddot{x}^2 dt,$$

где g – ускорение свободного падения, введенное для получения безразмерного показателя, x – координата центра масс, τ – время движения.

Показатель H_W , характеризующий уровень тепловых потерь в двигателе, определяется из уравнения динамики движения робота. Например, в простейшем случае при изучении поступательного движения робота

$$(3) \quad m\dot{x} = F - Q_{\text{сопр}},$$

где m – масса робота, совершающего поступательное движение, Q – сила сопротивления движению, F – развиваемая двигателем сила. Так, например, для двигателей постоянного тока

$$(4) \quad H_W = \frac{\alpha}{W} \int_0^{\tau} F^2 dt,$$

где α – известный параметр двигателя, W – постоянная условная работа, введенная для получения безразмерного показателя.

Если имеется не относящийся непосредственно к характеристикам движения, но зависящий от них, например, показатель темпа накопления объема V информации об окружающей среде (пополнения базы знаний), то необходимо иметь зависимость

$$(5) \quad \frac{dV}{dt} = f(x, \dot{x}, \ddot{x} \dots t).$$

Например, если в какой-то точке траектории, с координатой $x=\xi$, в силу лучшей обзорности, информация усваивается лучше, то (5) может иметь вид

$$(6) \quad f = \beta(2\xi x - x^2)$$

где β – постоянная, характеризующая информационно-измерительную систему робота.

Тогда безразмерный показатель накопления информации H_V может иметь вид

$$(7) \quad H_V = \frac{1}{\xi^2 \beta \tau} \int_0^\tau \beta(2\xi x - x^2) dt.$$

Другой важной характеристикой самопланирования движений и самоуправления является значимость каждого из показателей [8-10]. Для получения такой характеристики (1) раскладывается в ряд по степеням H_j в окрестности их нулевых значений

$$(8) \quad U = U_0 + \sum_{j=1} \frac{\partial U}{\partial H_j} \Big|_0 H_j + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \frac{\partial^2 U}{\partial H_j \partial H_k} \Big|_0 H_j H_k + \dots$$

Если условно принять, что при всех показателях H_j равных нулю критерий оптимальности также равен нулю и ограничиться линейными членами в (8), то вклад k_j (весовой коэффициент) каждого безразмерного показателя в общий критерий пропорционален производным

$$(9) \quad k_j = \frac{\partial U}{\partial H_j} \Big|_0.$$

Таким образом, в линейном приближении способность к самоуправлению определяется количеством и видом присущих роботу показателей, а также относительной значимостью этих показателей.

В геометрическом смысле и линейном приближении способность к самоуправлению определяется вектором \vec{I} в евклидовом пространстве безразмерных показателей качества H_j , образующих вектор качества \vec{H} . Если ввести единичные орты координатных осей каждого показателя \vec{e}_j , то

$$(10) \quad \vec{I} = \sum_{j=1}^N k_j \vec{e}_j = \sum_{j=1}^N \frac{\partial U}{\partial H_j} \Big|_0 \vec{e}_j, \quad \vec{H} = \sum_{j=1}^N H_j \vec{e}_j.$$

Для однозначного измерения способности к самоуправлению мобильного робота его необходимо заставить совершить какое-либо действие. Такое действие может измеряться скалярной величиной

$$(11) \quad U = \vec{I} \cdot \vec{H} = \sum_{j=1}^N \frac{\partial U}{\partial H_j} \Big|_0 H_j,$$

являющейся линейной частью критерия оптимальности (8).

3. Пример постановки модельной задачи

Ставится задача предсказать уравнения движения центров масс самоуправляемых роботов, перемещающихся между двумя точками и обладающих различными способностями к самоуправлению \vec{I}

Роботы совершают поступательное движение с прямолинейным движением центра масс. В начальный момент времени и через промежуток времени τ центры масс роботов находятся в покое. За это время они перемещаются на расстояние S . В процессе движения на роботы действует сила сопротивления, пропорциональная скорости центра масс

$$(11) \quad Q = \mu \dot{x}_c,$$

и они пополняют свою базу знаний информацией об окружающей среде. Темп полученной информации определяется выражением (7), уровень тепловых потерь – выражением (4), а квадрат среднеквадратичного ускорения – выражением (2).

4. Метод решения

Каждым из роботов самоуправление строится на основе гипотезы о минимизации критерия U оптимальности. В соответствии с (2), (4), (7), (8)

$$(12) \quad U = \sum k_j H_j = \int_0^\tau \left[\frac{k_1}{g^2 \tau} \dot{x}^2 + \frac{k_2 \alpha}{W} (m \ddot{x} + \mu \dot{x})^2 - \frac{k_3 (2\xi x - x^2)}{\xi^2 \tau} \right] d\tau = \int_0^\tau \Phi dt,$$

где

$$(13) \quad \Phi = \frac{k_1}{g^2 \tau} \dot{x}^2 + \frac{k_2 \alpha}{W} (m \ddot{x} + \mu \dot{x})^2 - \frac{k_3 (2\xi x - x^2)}{\xi^2 \tau}.$$

Поэтому для определения экстремума (12), (13) можно применить вариационные методы. Уравнения Эйлера-Пуассона для подынтегральной функции качества Φ тогда имеют вид [4]

$$(14) \quad \frac{d^2}{dt^2} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial x} = 0,$$

или в развернутой форме

$$\left(\frac{k_1}{g^2 \tau} + \frac{k_2 \alpha}{W} m^2 \right) \ddot{x} - \frac{k_2 \alpha}{W} \mu^2 \dot{x} + \frac{k_3}{\xi^2 \tau} x = \frac{k_3}{\xi \tau}.$$

5. Решение и анализ результатов

На графиках (рис. 1) представлены зависимости прямолинейного перемещения центров масс от времени трех роботов с одними и теми же техническими характеристиками ($m=10$ кг, $\alpha/W=10^{-5}$, находящимися в одной и той же среде ($\mu=10$, $\xi=3$). Все роботы прошли путь $S=10$ м за время $\tau=10$ сек. Различие между роботами состоит только в способности к самоуправлению (различные k_1 , k_2 , k_3), что и является причиной в характере движения. Интересно отметить, что при большей относительной значимости показателя накопления информации H_V (7), что определяется большей величиной k_3 по сравнению с k_1 и k_2 , робот большее время находится в окрестности координаты ξ и даже может изменять направление движения (кривая 3).

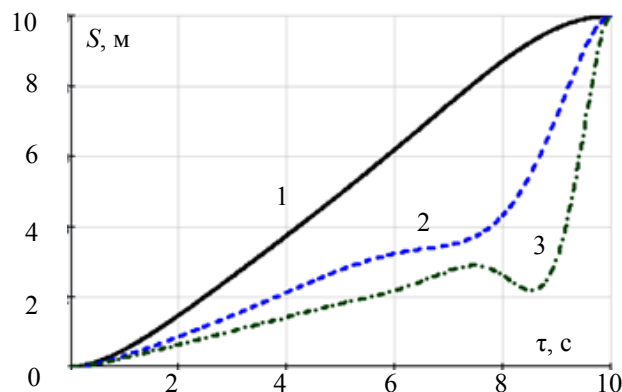


Рис. 1. Зависимость перемещения центра масс S от времени τ (кривая 1 — $k_1 = 15$, $k_2 = 2$, $k_3 = 7$; кривая 2 — $k_1 = 10$, $k_2 = 1$, $k_3 = 15$, $\xi = 3$; кривая 3 — $k_1 = 5$, $k_2 = 0$, $k_3 = 15$).

6. Заключение

Предложен вариант определения и измерения способности к самоуправлению мобильного робота. Для этого введено пространство показателей качества действий (для мобильных роботов – движений) как евклидова пространства N измерений. Координатами введенного пространства являются безразмерные показатели качества действий H_j ($j=1, 2 \dots N$).

В линейном приближении способность к самоуправлению мобильного робота определяется как вектор

$$\vec{I} = \sum_{j=1}^N k_j \vec{e}_j$$

где k_j – относительная значимость j показателя H_j , \vec{e}_j – единичные орты.

Установлена связь между относительной значимостью k_j показателя H_j и мерой оценки самоуправления как скалярным критерием оптимальности действия U

$$U = \vec{I} \cdot \vec{H} \quad k_j = \left. \frac{\partial U}{\partial H_j} \right|_0$$

Доказана закономерность влияния показателей качества H_j и способности к самоуправлению \vec{I} на уравнения оптимального движения робота (14) на основе применения уравнений Эйлера-Пуассона.

На практике, полученные результаты могут способствовать формированию адекватного программного обеспечения системы управления своим движением мобильного робота.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (18-71-10069).

Список литературы

1. Интеллектуальные роботы: учебное пособие для вузов / И.А. Каляев, В.М. Лохин, И.М. Макаров и др.; под общей ред. Е.И. Юревича. М.: Машиностроение, 2007. 360 с.
2. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. М.: Радиотехника, 2009. 392 с.
3. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. М.: Физматлит, 2011. 296 с.
4. Гноенский Л.С., Каменский Г.А., Эльсгольц Л.Э. Математические основы теории управляемых систем. М.: Наука, 1969. 512 с.
5. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1983. 393 с.
6. Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Иностранная литература, 1960. 400 с.
7. Ющенко А. С. Интеллектуальное планирование в деятельности роботов // Мехатроника, автоматизация, управление, 2005. № 3. С. 5-17.
8. Брискин Е. С., Калинин Я. В., Леонард А. В., Малолетов А. В. О прикладных экстремальных задачах с комплексным критерием качества // XII Всероссийское Собрание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 16-19 июня 2014 г. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 2184-2195.
9. Walking robot "character" as element of intelligent system / Briskin, E.S., Maloletov, A.V., Sharonov, N.G., Kalinin, Ya.V., Leonard, A.V., Serov, V.A., Shurygin, V.A. // 2016 Advances in Cooperative Robotics: Proceedings of the 19th CLAWAR, 2016. P. 386-394
10. Об оценке эффективности шагающих роботов на основе многокритериальной оптимизации их параметров и алгоритмов движения / Е.С. Брискин, Я.В. Калинин, А.В. Малолетов, В.А. Шурыгин // Известия РАН. ТиСУ. 2017. № 2. С. 168-176.