

А. С. Горобцов

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАНИРОВЩИК ДВИЖЕНИЯ РОБОТА-СОБАКИ

**Волгоградский государственный технический университет
ИМАШ РАН**

vm@vstu.ru

Рассматриваются кинематические параметры движения четырехногого робота-собаки на основе адаптивного генератора походок. Анализируются возможности адаптивного генератора походок (кинематического планировщика) для реализации движения робота в различных направлениях, в повороте и изменении положения корпуса. Решается обратная задача, с определением программных перемещений приводов в шагающих движителях. Адаптивный генератор может быть использован в системах управления роботом-собакой для синтеза заданного программного движения корпуса робота.

Ключевые слова: управление, нелинейные системы, шагающие роботы, обратная задача.

A. S. Gorobtsov

KINEMATIC MOTION PLANNER OF THE DOG ROBOT

**Volgograd State Technical University
IMASH RAS**

The kinematic parameters of the movement of a four-legged robot dog based on an adaptive gait generator are considered. The possibilities of an adaptive gait generator (kinematic planner) for realizing the robot's movement in various directions, in turning and changing the position of the body are analyzed. The inverse problem is solved, with the determination of the program movements of the drives in walking propellers. An adaptive generator can be used in robot dog control systems to synthesize a given program motion of the robot body.

Keywords: control, nonlinear systems, walking robots, inverse problem.

Введение

Роботы-собаки относятся к роботам, которые интенсивно развиваются в настоящее вре-

мя, благодаря относительной конструктивной простоте [1–3]. Алгоритм управления может быть реализован на основе адаптивного плани-

ровщика движения шагающих роботов [4], построенного на решении обратной задачи динамики робота [5–8]. Такой планировщик движений позволяет получать различные виды движения корпуса и согласованные с ним движения шагающих движителей. Планировщик также позволяет изменять параметры походки и номинальное положение стоп шагающих движителей. Рассмотрим особенности работы планировщика при реализации различных режимов движения.

1. Движение робота вперед

Интерфейс программной реализации адаптивного генератора содержит панель пульта

управления роботом и графическую модель робота, отображающую его движение, полученное с помощью решения математической модели (рис. 1).

Пульт управления кнопочного типа содержит кнопки двух типов – изменения скорости и параметров походки: двенадцать кнопок изменения скорости по шести координатам – трем поступательным и трем поворотным в положительном и отрицательном направлениях; кнопки изменения параметров походки, задающие относительную фазу движения шагающих движителей.

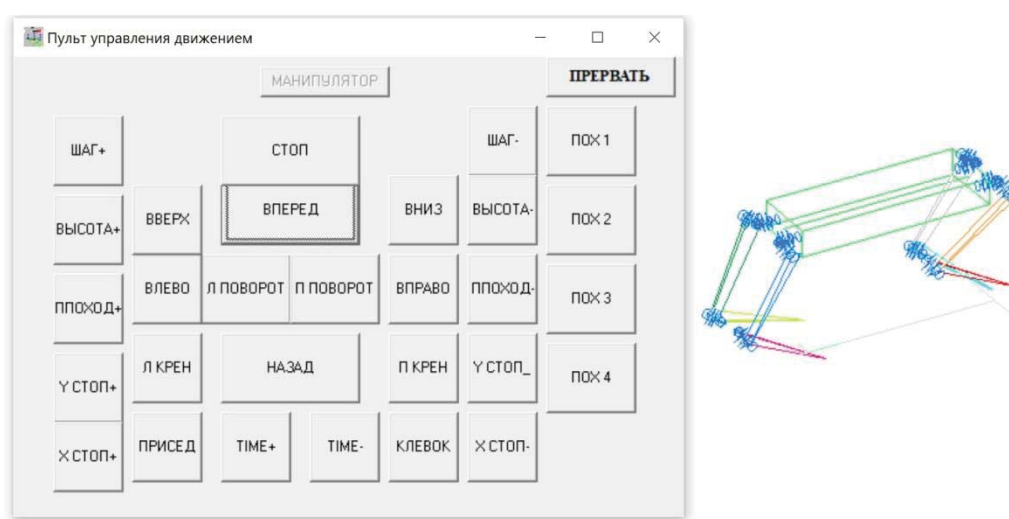


Рис. 1. Общий вид окна программного генератора походок

Однократное нажатие кнопок изменения скорости увеличивает скорость по соответствующей координате в положительном или отрицательном направлении на фиксированную ве-

личину за фиксированное время (в частности, на 0,1 м/с за 0,6 с). Принятый закон изменения скорости и ускорения показан на рис. 2.

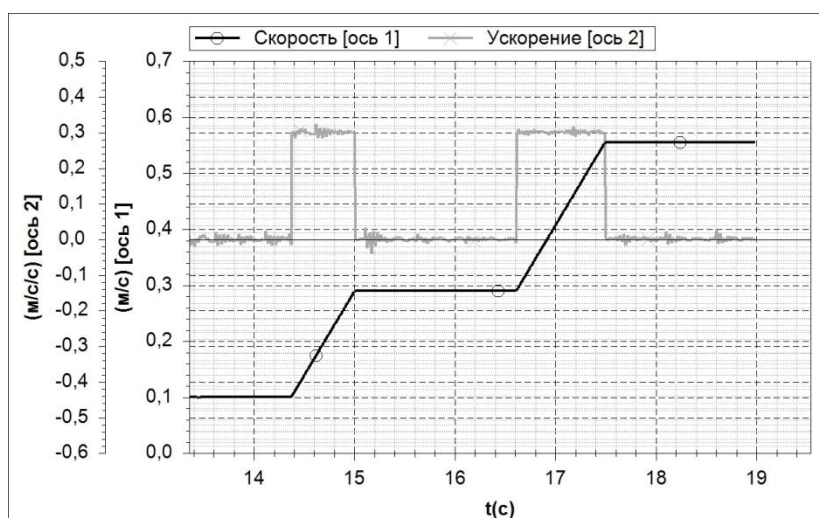


Рис. 2. Принятые законы изменения управления скоростью и ускорением

На рис. 3 показаны законы изменения продольной и вертикальной скорости левой передней стопы для варианта разгона до максимальной скорости в продольном направлении. Максимальная скорость определяется параметрами шагового движителя (в частности, минимальным временем цикла шагания). Походка – по-

парная перестановка диагонально расположенных ног, с короткой фазой опоры на все ноги. Достигнутая максимальная скорость – 1,1 м/с, при длине шага 0,6 м и минимальном времени цикла шагания 0,25 с. Дальнейший рост скорости невозможен из-за выхода на максимальную длину ноги в вытянутом состоянии (рис. 4).

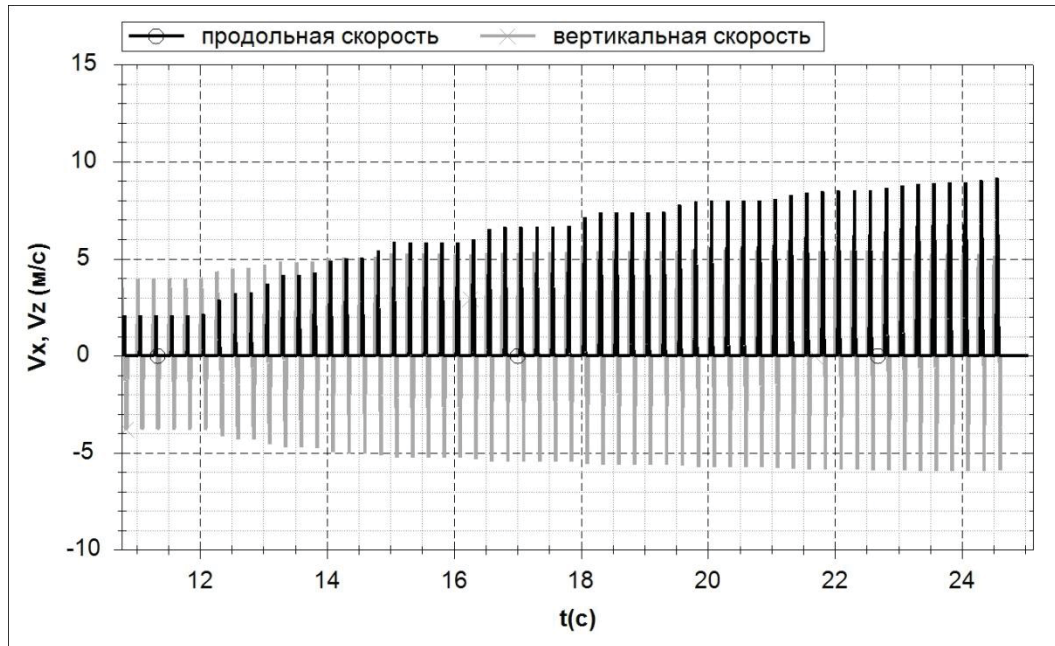


Рис. 3. Вертикальные и продольные перемещения передней левой стопы при разгоне до максимальной скорости 1,1 м/с

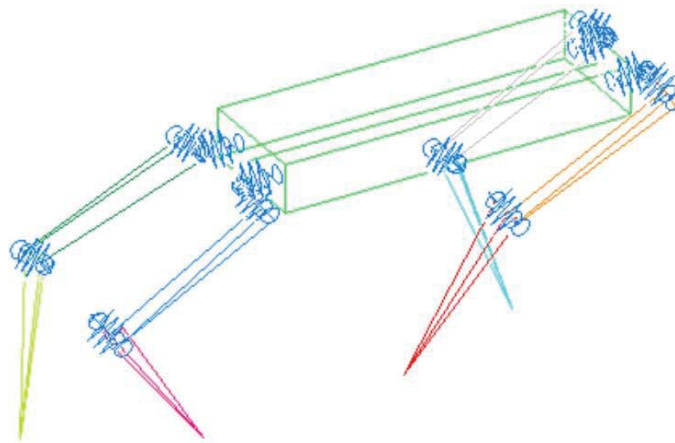


Рис. 4. Фрагмент положения ног при скорости 1,1 м/с

2. Движение робота вбок

Движение робота вбок реализуется заданием скорости корпуса в поперечном направлении. Максимальная достигнутая скорость в поперечном направлении, ограничиваемая параметрами алгоритма шагания, составляет 0,8 м/с, однако в математической модели не учитывается пересечение стоп, которое уменьшает боковую ско-

рость движения (рис. 5). Для исключения пересечения стоп целесообразно увеличивать номинальное расстояние между стопами в поперечном направлении (в частности, за счет смещения стоп переднего борта в сторону движения). На рис. 6 показан фрагмент положения задних ног без перехлеста стоп, что было достигнуто смещением номинального положения стоп лево-

го борта на 0,2 м во внешнюю сторону. Таким образом, рассматриваемый кинематический планировщик позволяет синтезировать движение

корпуса в любом направлении, и устранять возможное пересечение стоп за счет соответствующего смещения номинального положения стоп.

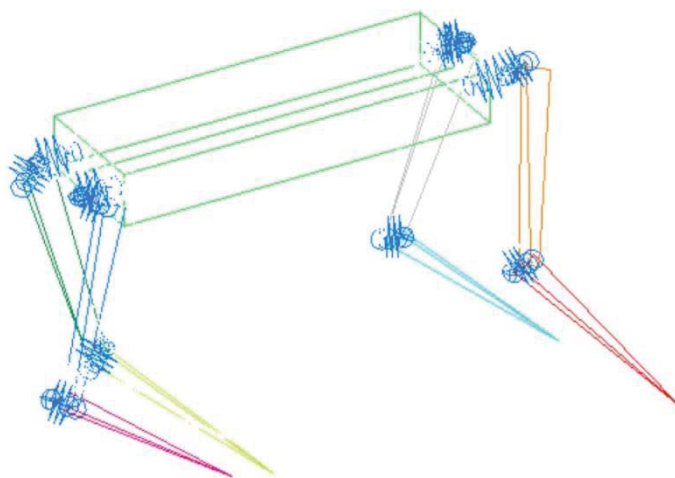


Рис. 5. Положение ног робота при движении вбок с перехлестом задних ног

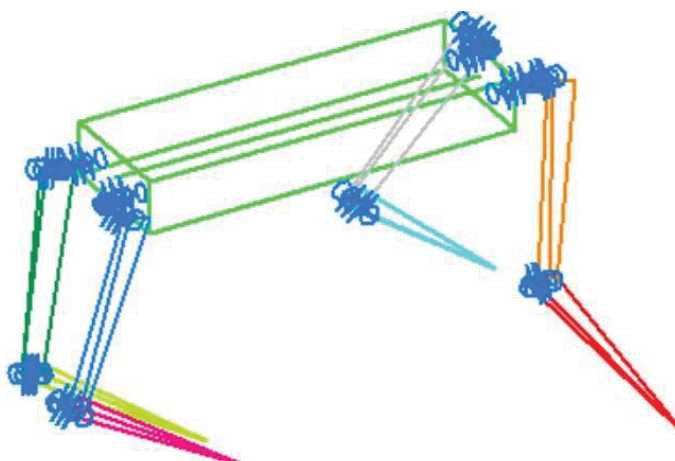


Рис. 6. Положение ног робота при движении вбок без перехлеста задних ног

3. Поворот робота на месте

Поворот робота на месте задается изменением угловой скорости корпуса робота относительно вертикальной оси. Кинематические ограничения, связанные с перехлестом стоп, в этом случае несущественны. На рис. 7 показано положение робота при повороте на месте с угловой скоростью 0,8 рад/с против часовой стрелки. Имеет место незначительное смещение стоп в сторону, противоположную направлению поворота.

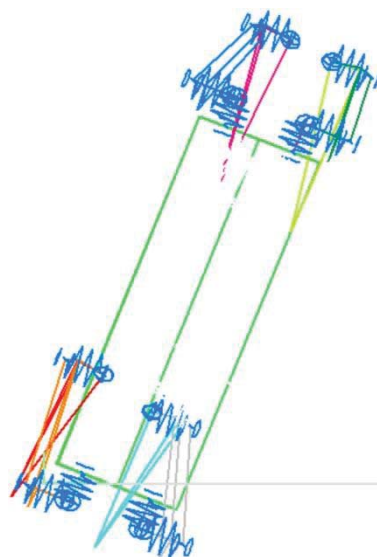


Рис. 7. Положение ног робота при повороте на месте

4. Поворот робота в движении

Поворот робота в движении задается одновременным изменением поступательных скоростей центра корпуса робота в нужном направлении и изменением угловой скорости корпуса робота относительно вертикальной оси (рис. 8). Представленный пример служит демонстрацией возможностей кинематического планировщика.

Для управляемого движения робота (движение по заданной траектории с ориентацией вдоль этой траектории) необходимо задание скорости поступательного движения робота в системе координат, связанной с корпусом робота, и согласование угловой скорости с кривизной траектории движения. Такая задача является стандартной и не требует специального рассмотрения.

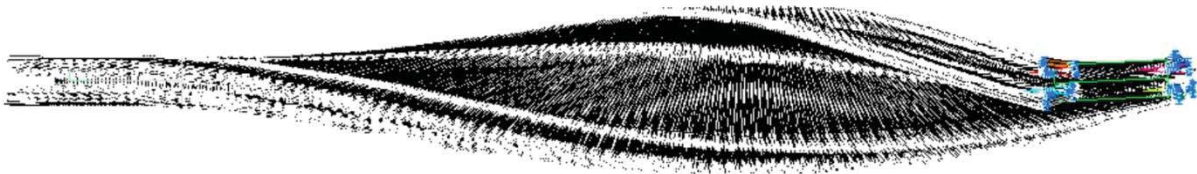


Рис. 8. Кинограмма движения робота в продольном направлении с поворотом на 180 град против часовой стрелки

5. Изменение клиренса робота и углов крена и дифферента

Положение корпуса в кинематическом планировщике задается шестью координатами, три из которых можно использовать для изменения положения корпуса. Управление по вертикальной координате регулирует клиренс, управление по углам крена и дифферента изменяет од-

ноименные углы. При управлении по указанным направлениям изменяется положение на заданную величину. После окончания изменения положения скорость по этому направлению равна нулю.

На рис. 9 показано движение робота на вытянутых ногах, что достигается увеличением вертикальной координаты корпуса.

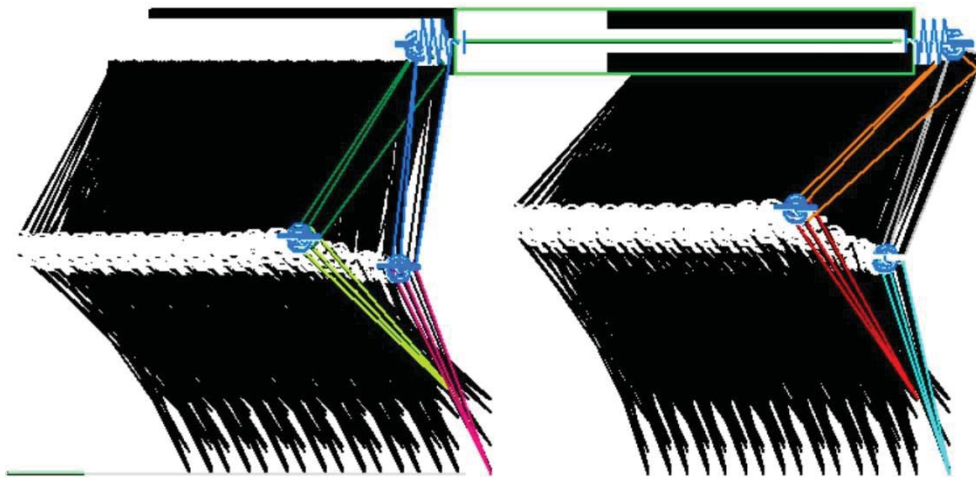


Рис. 9. Кинограмма движения робота в продольном направлении с увеличенным клиренсом – на вытянутых ногах

На рис. 10 представлено движение робота с креном и дифферентом. Отметим, что кинематический планировщик обеспечивает движение

шагающих движителей при произвольном положении корпуса робота.

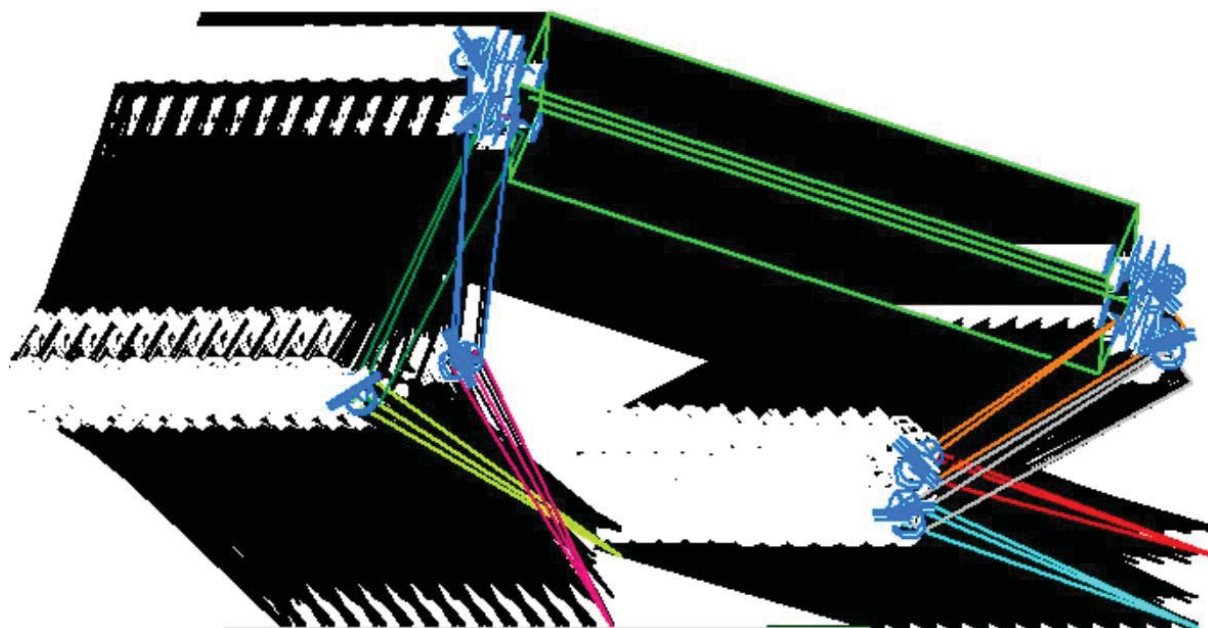


Рис. 10. Кинограмма движения робота в диагональном направлении с креном и дифферентом корпуса

Заключение

Рассмотренный кинематический планировщик робота-собаки позволяет реализовывать пространственное движение робота в произвольном направлении с заданной ориентацией корпуса. Планировщик обеспечивает маневрирование робота по направлению и повороту. Особенностью планировщика является согласованность перемещения стоп шагающих движителей с пространственным перемещением корпуса. Обеспечивается также исключение коллизий между шагающими движителями за счет индивидуального управления номинальным положением стопы. Представленные результаты основаны на универсальном кинематическом планировщике, работающем с произвольным количеством шагающих движителей. Планировщик может быть непосредственно использован в системах управления шагающими роботами в статически устойчивых режимах движения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Learning to walk via deep reinforcement learning / T. Haarnoja, S. Ha, A. Zhou, J. Tan, G. Tucker, S. Levine // ArXiv Preprint, 2018.
2. Sim-to-real learning of all common bipedal gaits via periodic reward composition / J. Siekmann, Y. Godse, A. Fern, J. Hurst // 2021 IEEE International Conference On Robotics And Automation (ICRA), 2021. – Pp. 7309–7315.
3. Surana, S. Efficient Learning of Locomotion Skills through the Discovery of Diverse Environmental Trajectory Generator Priors / S. Surana, B. Lim, A. Cully // ArXiv Preprint, 2022.
4. Программно-аппаратный комплекс для создания и исследования систем управления локомоцией и автономным движением мобильных роботов / А. С. Горобцов, А. Е. Марков, П. С. Тарасов, Ан. В. Скориков, А. В. Дианский, Д. А. Степаненко // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (256) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – С. 21–25.
5. Особенности решения уравнений метода обратной задачи для синтеза устойчивого управляемого движения шагающих роботов / А. С. Горобцов, А. Е. Андреев, А. Е. Марков, А. А. Скориков, П. С. Тарасов // Информатика и автоматизация (Труды СПИИРАН). – 2019. – № 18. – С. 85–122.
6. Управление согласованным движением группы шагающих роботов при переносе груза / А. С. Горобцов, А. К. Алешин, Г. В. Рашоян, С. А. Скворцов, С. К. Шалюхин // Справочник. Инженерный журнал. – 2019. – № 6. – С. 9–16.
7. Компьютерные методы построения и исследования математических моделей динамики конструкций автомобилей / А. С. Горобцов, С. К. Карцов, А. Е. Плетнев, Ю. А. Поляков. – М. : Машиностроение, 2011. – 462 с.
8. Горобцов, А. С. Синтез параметров управляемого движения многосвязных механических систем произвольной структуры методом обратной задачи / А. С. Горобцов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 6. – С. 43–50.