

Разработка автономного шагающего робота и его управление

Коломейцев А.А.

НИУ "МЭИ"

15 июля 2019 г.

АННОТАЦИЯ

В данной работе показан процесс проектирования, сборки и управления двуногим шагающим роботом. Подобраны комплектующие, соответствующие нагрузке, типу управления и требованиям к качеству перемещения робота в режиме ходьбы. Спроектированы драйверы для бесколлекторных двигателей, позволяющие осуществлять точное позиционирование трёхфазного бесколлекторного двигателя. Исследована механика системы в "стоячем" режиме.

Построена трёхмерная твердотельная модель системы и проведена её физическая симуляция, обучение ходьбе. Обученная в симуляции модель применена к настоящей физической модели робота. Спроектирована и запрограммирована система управления.

ЭТО СЛАДКИЕ МЕЧТЫ

Надеюсь успею...

ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ	1
ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1 ДВУНОГИЙ ШАГАЮЩИЙ РОБОТ	5
1.1 Конструкция шагающего робота	5
1.2 Строение ноги	5
1.3 Обоснование использования бесколлекторных двигателей	6
1.4 Постановка задачи	6
ГЛАВА 2 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ	8
2.1 Кинематика ходьбы	8
2.2 Динамика ходьбы	8
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	10
ПРИЛОЖЕНИЕ А: КОМПЛЕКТУЮЩИЕ	11
ПРИЛОЖЕНИЕ Б: КОД КЛАССА	13

ВВЕДЕНИЕ

Шагающие роботы - это класс роботов, имитирующих движения людей и животных. Миллионы лет эволюции показывают, что передвижение при помощи ног это наиболее эффективный способ быстро приспосабливаться к плохим, неровным поверхностям. Люди пытались описывать ходьбу шагающими механизмами, математическими формулами. На сегодняшний день понятно, что ни один из этих двух способов к результатам, применимым на практике, не приведет. От шагающей системы требуется приспособиться к тем условиям, в которых она раньше не была.

Актуальность работы

Задача создания шагающих роботов общего назначения с повышенной степенью автономности и надежности сегодня актуальна, как никогда ранее. Всё в большей степени людей стараются заменять роботами для работ вроде общего тех. осмотра помещений, исследования местности вдали от дорог и цивилизации, помощи в устранении последствий катастроф. Открытость методик, исходных кодов и готовых рассчитанных моделей приведет к массовой разработке шагающих роботов не только крупными предприятиями, но и мелкими разработчиками.

Рынок шагающих роботов

Классифицировать шагающие машины можно не только по количеству ног. Некоторые роботы комплектуются также и колесами, для увеличения скорости передвижения по ровным поверхностям.

На текущий момент можно найти огромное количество шагающих роботов. Гексаподы, робо-пауки и т.д. Но среди сотен моделей можно выделить всего несколько роботов, ходьба которых максимально приближена к животной.

Из четырёхногих роботов лучшие результаты показывают:

- Роботы Spot и Spot-Mini от компании Boston Dynamics
- Робот Mini-Cheetah от студентов MIT
- Робот ANYmal от студентов Цюрихского университета

- Робот HyQReal от ИТ (Итальянского технологического института)
- Роботы LaikaGo и AlienGo от компании Unitree Robotics

Среди двуногих можно выделить такие проекты, как:

- Робот Digit от компаний Agility Robotics и Ford
- Робот Cassie от компании Agility Robotics
- Робот Atlas от компании Boston Dynamics

Всех выше перечисленных роботов объединяет одно важное свойство - они обучены ходить. Алгоритм их ходьбы не описан статическими константами в коде, он создан при помощи методов машинного обучения. Благодаря этому все они показывают высокую степень мобильности и адаптивности к окружающей среде. Их перемещения похожи на то, как могли бы перемещаться животные со схожим механическим строением тела.

Будущее шагающих роботов именно за машинным обучением, а если быть точнее, за глубоким обучением с подкреплением (reinforcement learning). Модели, обученные в симуляции показывают более высокий КПД при перемещении и меньшее потребление тока, чем модели ходьбы, описанные человеком вручную [1].

ГЛАВА 1

ДВУНОГИЙ ШАГАЮЩИЙ РОБОТ

1.1 Конструкция шагающего робота

Конструкция максимально простая. Корпус робота содержит в себе всю силовую и логическую электронику. К корпусу сзади крепится противовес, что-то вроде хвоста у животных, и две ноги. Каждая нога является манипулятором с тремя степенями свободы.

После того как было решено использовать эту кинематику, была спроектирована твердотельная 3D-модель робота.

[СКРИНШОТ СБОРКИ]

Отсутствие стоп у робота компенсируется ПИД-алгоритмом удерживания равновесия в стоячем состоянии и обученным алгоритмом в режиме ходьбы.

1.2 Строение ноги

На рисунке X представлена конструкция ноги робота. Как можно заметить, все три электропривода смещены к основанию ноги. Сделано это из практических побуждений. Такое расположение электроприводов позволяет уменьшить моменты инерции звеньев за счет максимального их облегчения. Такая конструкция позволяет использовать редуктор с малым передаточным числом. Это в свою очередь приводит к тому, что резко возрастает надежность привода, растёт степень обратной тяги (backdrivable) и способность распознавать проприоцептивную силу [2]. Все это идеальные атрибуты для создания шагающих роботов.

Таблица 1.1 — Список использованных комплектующих

Наименование	Назначение	Кол-во
Raspberry Pi 3B	Микрокомпьютер	1
STM32 Nucleo	Микроконтроллер	1
BGM5208-200-12	Бесколлекторный трехфазный двигатель	6
KMPS05	Блок питания	1
KMBD01	Драйвер BLDC	6
TB6600	Драйвер ШД	1
Nema 11	Шаговый двигатель	1

1.3 Обоснование использования бесколлекторных двигателей

В данном проекте используются трёхфазные синхронные бесколлекторные двигатели с внешним ротором на постоянных магнитах. В зарубежной литературе их обозначают BLDC.

BLDC моторы более универсальны, чем ДПТ, из-за более высокой скорости вращения и более высокого крутящего момента [3]. Они также более компактны, что делает их идеальным вариантом для встраивания в сложные, ограниченные по габаритам системы. В основном такие двигатели начали применяться сначала в жестких дисках, системах охлаждения электроники. Позже, мощные BLDC моторы стали применяться в гибридных и электромобилях. В настоящее время, в связи с развитием микроэлектроники, эти моторы стали применяться в промышленных задачах позиционирования и приведения, в робототехнике и мультикоптерах.

1.4 Постановка задачи

Цель работы - разработка двуногого шагающего робота и алгоритма его управления. Во время выполнения работы будут решаться следующие инженерные задачи:

- Анализ механики системы (статика, кинематика, динамика)
- Подбор комплектующих
- Разработка драйвера для BLDC двигателей
- Создание трехмерной твердотельной модели системы

- Сборка робота, пусконаладочные работы
- Программирование системы управления

Подробная таблица с описанием технических характеристик всех комплектующих в приложении А.

ГЛАВА 2

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ

2.1 Кинематика ходьбы

Верхняя его часть *антропоморфна*, однако ног у него четыре, что выделяет его на фоне роботов антропоморфной конструкции в вопросах мобильности и устойчивости. [1] Стоит отметить, что данный аппарат не полностью автономен, и для полноценной работы ему потребуется оператор, однако по словам разработчиков в случае, например, обрыва питания робот может продолжить выполнение задач самостоятельно.

2.2 Динамика ходьбы

Каждая нога состоит из манипулятора с четырьмя степенями свободы (поворот в плоскости платформы, и три поворота в вертикальной плоскости) и колеса, имеющего две степени свободы относительно конечного звена манипулятора. [2]

$$\begin{aligned} F &\rightarrow x \mid y \mid (S) \\ T &\rightarrow F \mid T * F \\ S &\rightarrow T \mid S + T \end{aligned}$$

(а)

$$\begin{aligned} F &\rightarrow x \mid y \mid (S) \\ T &\rightarrow F \mid T * F \\ S &\rightarrow T \mid S + T \end{aligned}$$

(б)

Рисунок 2.1 — (а) Продукции грамматики G для порождения арифметических выражений; (б) Дерево разбора строки $x + y * y$ в грамматике G .

Таблица 2.1 — Расчет весомости параметров ПП

Параметр x_i	Параметр x_j				Первый шаг		Второй шаг	
	X_1	X_2	X_3	X_4	w_i	$K_{\text{в}i}$	w_i	$K_{\text{в}i}$
X_1	1	1	1.5	1.5	5	0.31	19	0.32
X_2	1	1	1.5	1.5	5	0.31	19	0.32
X_3	0.5	0.5	1	0.5	2.5	0.16	9.25	0.16
X_4	0.5	0.5	1.5	1	3.5	0.22	12.25	0.20
Итого:					16	1	59.5	1

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Learning agile and dynamic motor skills for legged robots / Jemin Hwangbo, Joonho Lee, Alexey Dosovitskiy et al. // Science Robotics. — 2019. — jan. — Vol. 4, no. 26. — P. eaau5872.
- [2] Actuator design for high force proprioceptive control in fast legged locomotion / Sangok Seok, Albert Wang, David Otten, Sangbae Kim // 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. — IEEE, 2012. — oct.
- [3] A quantitative comparison between BLDC, PMSM, brushed DC and stepping motor technologies / Stijn Derammelaere, Michiel Haemers, Jasper De Viaene et al. // 2016 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). — IEEE, 2016. — Nov.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

КОМПЛЕКТУЮЩИЕ

Бесколлекторный двигатель BGM5208-200-12



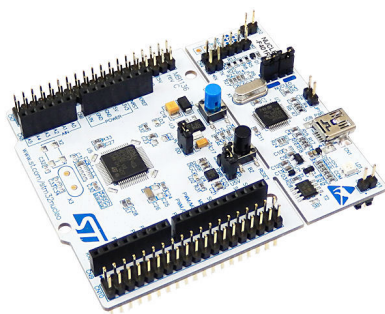
Количество полюсов:	12
Внутренний диаметр:	12мм
Вес:	85г
Размер:	63x24мм
Внутр. сопротивление:	15 Ом

Микрокомпьютер Raspberry Pi 3B



Процессор:	Broadcom BCM2837
Количество ядер:	4
Частота процессора:	1.2ГГц
Разрядность:	64 бита
Оперативная память:	1 ГБ
Интерфейсы:	4xUSB, Ethernet
Напряжение питания:	5В

Микроконтроллер STM32 Nucleo F429ZI

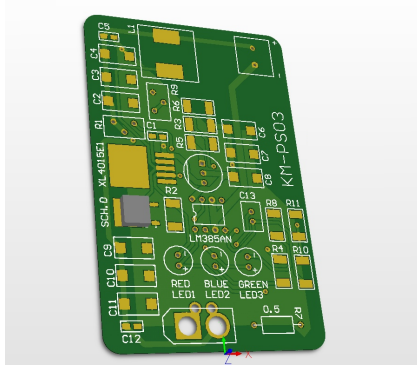


Ядро:	Cortex M4
Рабочая частота:	84 МГц
Разрядность:	32 бита
Цифровых пинов:	81 шт.
Кол-во шин:	3xI2C, 4xSPI
Напряжение питания:	5В

Продолжение приложения А на следующей странице...

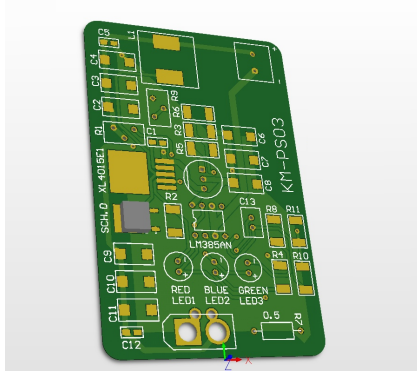
Продолжение приложения А...

Блок питания KMPS05



Ядро: Cortex M4
Рабочая частота: 84 МГц
Разрядность: 32 бита
Цифровых пинов: 81 шт.
Кол-во шин: 3xI2C, 4xSPI, 3xUART
Напряжение питания: 5В

Драйвер бесколлекторных двигателей KMBD01



Ядро: Cortex M4
Рабочая частота: 84 МГц
Разрядность: 32 бита
Цифровых пинов: 81 шт.
Кол-во шин: 3xI2C, 4xSPI, 3xUART
Напряжение питания: 5В

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

КОД КЛАССА

```
14 class TaskPool():
15
16     def __init__(self, serial_wrapper):
17         self.serial_wrapper = serial_wrapper
18         self.running = True
19         self.main_thread = None # thread that processes incoming messages and
20                                 tasks
21         self.tasks = list() # tasks queue
22         self.subscribers = dict() # (CODE -> LISTENER) where CODE is code of
23                                 the Task for which the response is expected
24         self.task_lock = Lock()
25         self.inbox = dict() # for messages which nobody waited
26
27     def push_task(self, task):
28         """ Add task to perform and run main thread """
29         self.task_lock.acquire()
30         self.tasks.append(task)
31         # run thread if it is not alive
32         if not self.main_thread or not self.main_thread.isAlive():
33             self.main_thread = Thread(target=self.main_loop, daemon=False) #
34                                     daemon=True for force terminating
35             self.main_thread.start()
36         self.task_lock.release()
```