**Содержание Диссертации**

1. **Описание разработанной библиотеки**
   1. **Модули и их функции**
2. **Трехзвенный корпус**
   1. **Кинематика корпуса**
   2. **Обратная кинематика корпуса**
   3. **Залезание на прямой уступ**
   4. **Залезание на уступ с отрицательным уклоном**
   5. **Описание модели трехзвенного робота в УМ**
   6. **Моделирование прямого уступа**
   7. **Моделирование уступа с отрицательным уклоном**
3. **Мозаичный корпус**
   1. **Кинематика корпуса**
   2. **Обратная кинематика корпуса**
   3. **Прохождение между домами**
   4. **Описание модели робота в УМ**
   5. **Моделирование обратной кинематики мозаичного корпуса**
   6. **Моделирование прохода между домами**
4. **Приложения:**
   1. **Листинг модели Прямой уступ**
   2. **Листинг модели Уступ с отрицательным уклоном**
   3. **Листинг модели Обратной кинематика мозаичного корпуса**
   4. **Листинг модели Проход между домами**
   5. **Листинг скрипта Уравнения статического равновесия для всех конфигураций залезания**

**Описание робота**

Описание модели: робот состоит из корпуса и шести ног. Корпус состоит из трех сегментов, соединенных между собой вращательными шарнирами.

Количество внутренних степеней свободы робота составляет:

- 6 для системы как единого целого в абсолютной неподвижной системе координаты

- 6\*3 = 18 для шарниров в ногах робота

- 2\*1 = 2 для двух шарниров в корпусе робота.

Итого получается 16 степеней свободы.

**Залезание на прямой уступ при помощи кулоновского трения. Постановка задачи(математика)**

Рассмотрим препятствие вида уступ (рисунок ). В начальный момент времени робот находится на нижней площадке и требуется при помощи выбора следовых точек забраться на верхнюю площадку. Горизонтальные площадки образуют прямые углы с вертикальной площадкой. Высота уступа составляет H.

Считаем что робот двигается в статически устойчивом режиме – в каждый момент времени в контакте с опорной поверхностью находится как минимум 3 ноги.

Считаем что робот двигается походкой галоп – четыре симметрично расположенных ноги находятся в опоре, а одна пара в фазе переноса.

Залезание на уступ можно разделить на несколько возможных конфигураций:

- робот находится на нижней площадке – опирается только на неё

-робот опирается парой ног на вертикальную стенку, а другой парой на нижнюю горизонтальную площадку

- работ дотянулся до верхней площадки передними ногами и опирается на неё ногами, другая пара ног опирается на вертикальную стенку

- робот опирается только верхнюю площадку – препятствие преодолено

Проведем анализ статической устойчивости для каждой из конфигураций.

1. Рассмотрим задачу статического равновесия, когда две ноги опираются на вертикальную стенку, а другие две опираются на нижнюю горизонтальную площадку. Робот будет находится в состоянии равновесия, когда сумма всех сил и сумма всех моментов будут равны нулю. Пусть точках контакта есть следующие реакции (…) где …

Проекция всех сил на ось Ox:

(уравнение)

Проекция всех сил на ось Oy:

(уравнение)

Проекция всех сил на ось Oz:

Пусть r\_I радиус векторы опорных точек, и r\_c радиус вектор центра масс робота. Тогда моменты реакций можно записать в виде:

(выражение)

Момент силы тяжести, действующей на центр масс:

(выражение)

Сумма моментов сил в проекции на ось Ox:

(уравнение)

Сумма моментов сил в проекции на ось Oy:

(уравнение)

Сумма моментов сил в проекции на ось Oz:

(выражение)

В шести уравнениях содержится столько неизвестных. Введем дополнительные соотношения:

K\_x, N\_1=N\_2=N\_u …

Первое уравнение системы выродится в тождество, так в тождество обратятся уравнения 5 и 6. В оставшихся трех равнениях содержится столько неизвестных.

(уравнения)

Дополнительно примем что k\_z = -k\_y = k. У нас останется 3 неизвестных, а все остальное это параметры.

Выразим N\_u и N\_d, и k из данной системы уравнений. Все выкладки так же были выполнены вручную и проверены при помощи специализированного пакета. Для вывода уравнений и нахождения решений в аналитическом виде использовался символьный процессор Matlab. Листинг кода скриптов для вывода уравнений статики находится в приложении №….

По результатам выкладок, для робота массой P = … получаем что коэффициент трения К должен быть не менее чем.

Далее рассмотрим следующую фазу залезания робота на уступ.

1. Робот опирается парой ног на верхнюю вертикальную площадку, а другой парой ног – на вертикальную стенку. Распишем уравнения статики с аналогичными допущениями, как и в предыдущей фазе залезания на уступ. Из исходных шести уравнений в тождества обратились следующие:

Проекция сил на ось Oy

Проекция сил на ось Oz

Проекция момента сил на Ox.

….

**Моделирование залезания на прямой уступ.**

Проведено моделирование залезания робота на прямой уступ. Листинг кода модели находится в приложении номер ().

…

На рисунке номер() приведена кинограмма движения робота и траектории концов ног

(кинограмма)

Графики реакций опоры

(графики)

**Залезание на уступ с отрицательным уклоном. Постановка задачи(математика)**

Рассмотрим препятствие вида уступ с отрицательным уклоном (рис). Препятствие состоит из трех опорных площадок. Угол между нижней горизонтальной площадкой и наклонной площадкой составляет pi/2-alpha. Верхняя и нижняя горизонтальные площадки параллельны. Высота уступа составляет H.

Считаем что робот двигается походкой галоп. Считаем что робот двигается в статически устойчивом режиме.

Залезание на уступ с отрицательным уклоном можно разделить на следующие возможные конфигурации:

- робот стоит на нижней площадке всеми опорными ногами

- робот опирается парой ног на наклонную стенку, а вторая пара опирается на нижнюю горизонтальную площадку

- робот опирается парой ног на верхнюю опорную площадку, а вторая пара опирается на наклонную площадку. Ноги обеспечивают сжатие острого угла уступа чтобы обеспечить статическую устойчивость

- робот опирается на верхнюю опорную площадку

1) Рассмотрим конфигурацию, когда робот передними ногами опирается на наклонную стенку, а второй парой ног на нижнюю горизонтальную площадку(рис). Выведем, аналогично пункту(), уравнения статического равновесия:

Проекция сил на ось Ox:

(выражение)

Проекция сил на ось Oy:

(выражение)

Проекция сил на ось Oz:

(выражение)

Проекция моментов сил на ось Ox:

(выражение)

Проекция моментов сил на ось Oy:

(выражение)

Проекция моментов сил на ось Oz:

В шести уравнениях содержится … неизвестных. Введем дополнительные соотношения:

Равномерность нагрузки на левую и правую сторону робота – походка галоп (N\_1 = N\_2 = N\_u) …

После подстановки () в систему уравнений () она вырождается в систему из трех уравнений:

(Проекция сил на Oy)

(Проекция сил на Oz)

(проекция момента на ось Ox)

В системе … неизвестных. Введем дополнительно: … . Получается замкнутая система с тремя неизвестными N\_u, N\_d и k. Найдем выражения для этих переменных:

N\_u = …

N\_d = …

K = …

Видно, что для того чтобы обеспечить статическое равновесия для робота с параметрами () коэффициент трения должен быть не менее … , а робот должен уметь сдавливать уступ с усилием не менее …

**Моделирование залезания на уступ с отрицательным уклоном.**

Выполнено моделирование залезания робота на уступ с отрицательным уклоном. Листинг кода модели находится в приложении номер().

На рисунке () приведена кинограмма движения робота при залезании на уступ с отрицательным уклоном. На рис() приведены графики реакций опоры для каждой из ног