



Планирование и оптимизация программных движений манипуляционных роботов методом конфигурационного пространства

Выпускная работа

на соискание академической степени бакалавра
техники и технологии по направлению 150300
«Прикладная механика»

Выполнил:

Харалдин Н.А.

Научный руководитель: д.т.н., проф. Бурдаков С.Ф.

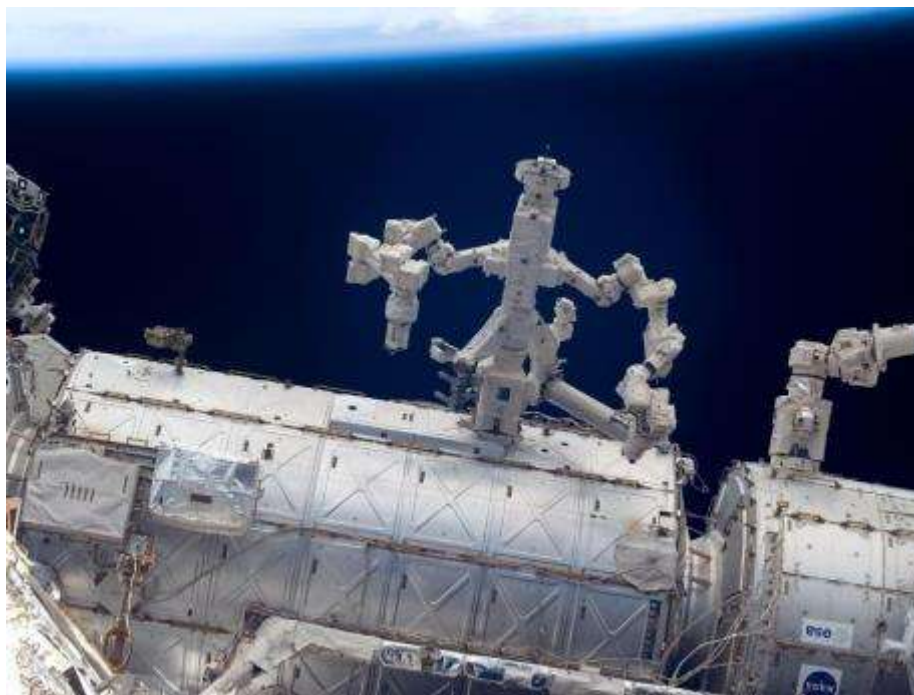
Рецензент:

д.т.н., проф. Яковис Л.М.

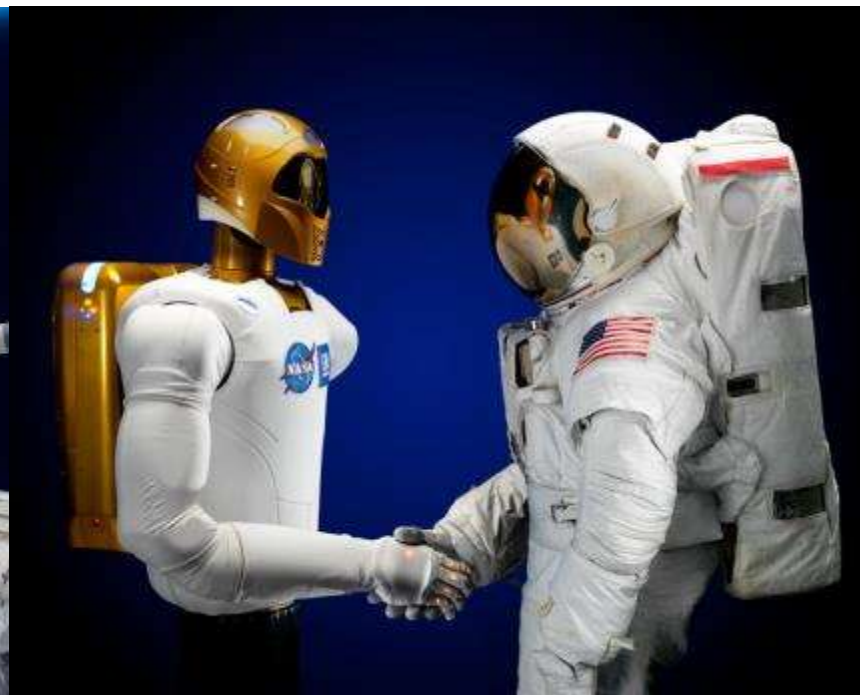


Космические робототехнические системы

Использование робототехники для исследования космоса – важное направление развития науки и техники



Манипулятор Dextre

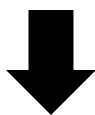


Робот гуманоидного типа Robonaut

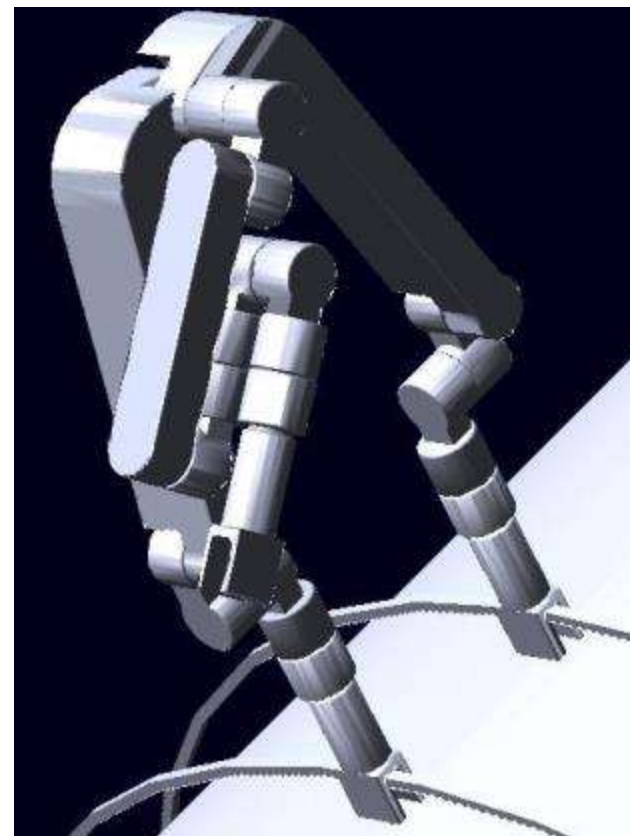


Проблема управления космическим роботом

- Работа в среде с препятствиями
- Большое число выполняемых операций
- Высокая степень ответственности



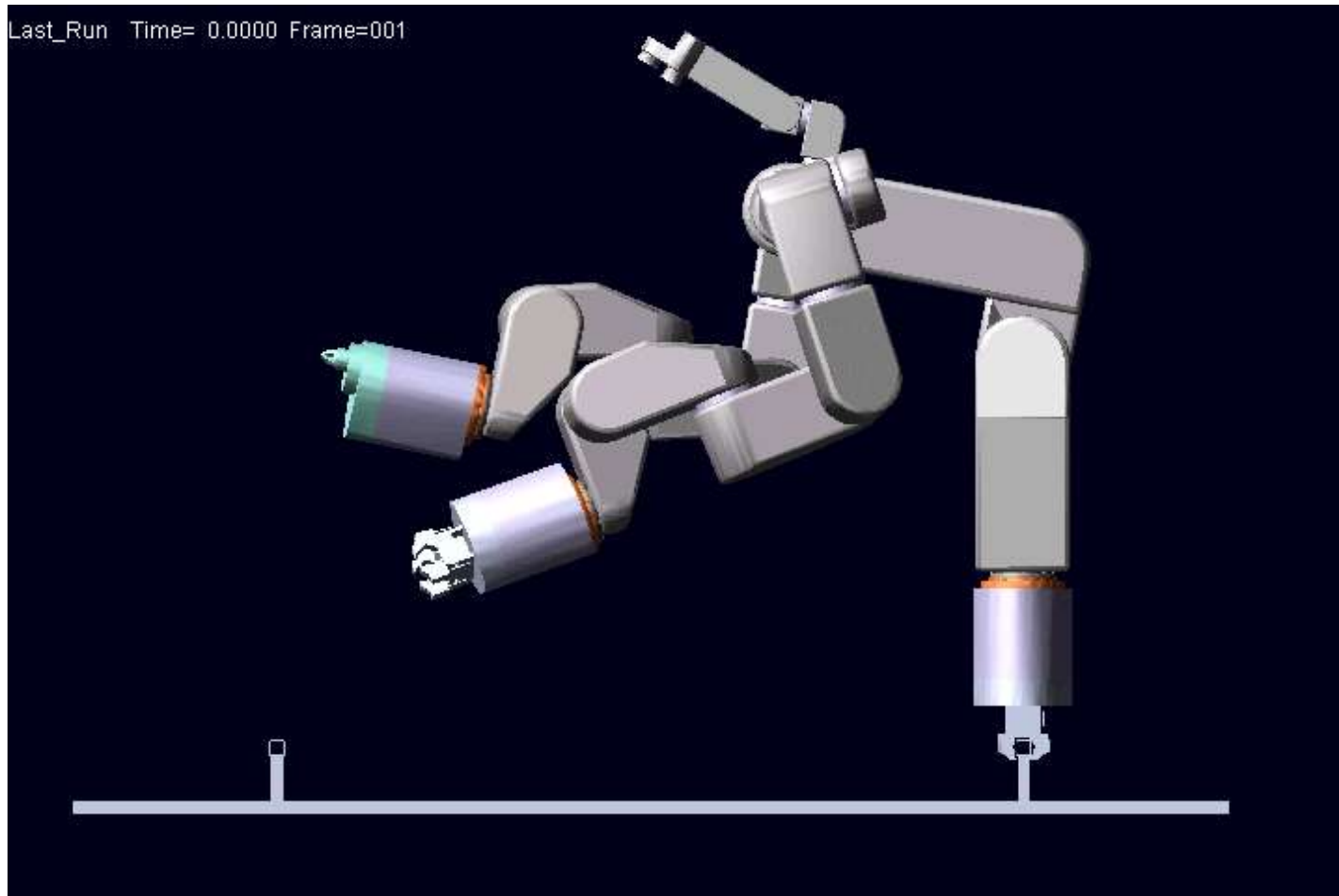
Необходимость привлечения оператора для управления



Разработка ЦНИИ РТК

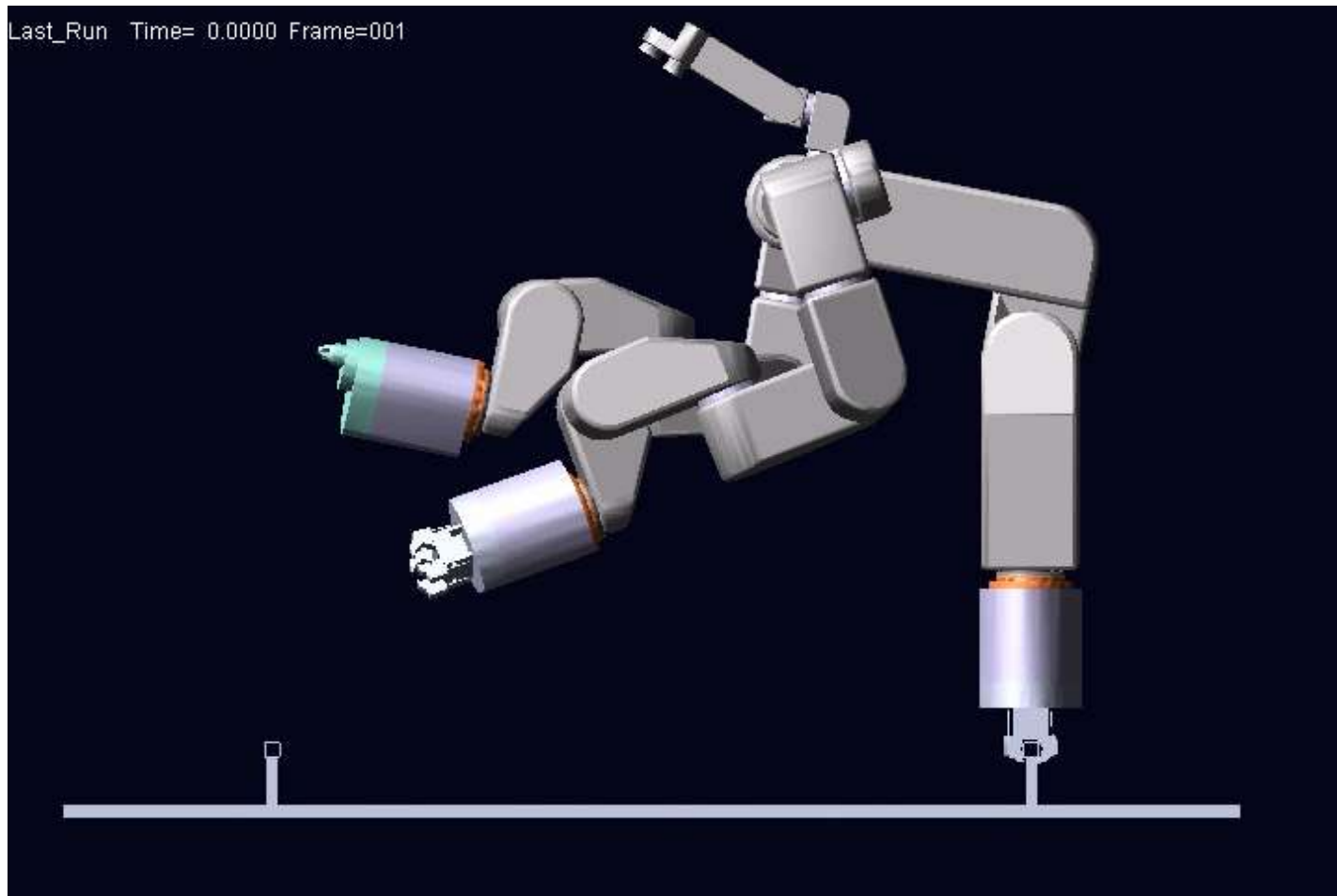


Проблема возникновения коллизий при движении робота из исходного положения в заданное





Решение проблемы путём изменения законов движения





Общая постановка задачи

- Задача синтеза с участием оператора программных законов движения в шарнирах робота при условии:
 - обеспечения выполнения технологических операций;
 - удовлетворения конструктивным и кинематическим ограничениям;
 - отсутствия столкновений с препятствиями.
- Отработка законов движения в дальнейшем осуществляется системой управления манипулятора



Данная информация

- Априорная информация

Конструктивные параметры робота, позволяющие определить координаты и положение элементов конструкции робота

$$r_p = \varphi(q),$$

где $r_p = [x_p \ y_p \ z_p \ \alpha \ \beta \ \gamma]^T$ – вектор, содержащий три координаты полюса x_p, y_p, z_p и три угла α, β, γ , (направляющих косинуса) определяющих ориентацию схвата, относительно опорной системы координат; $q = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_n]^T$ – n -мерный вектор обобщенных координат робота.

- Текущая информация в виде цифровой 3D-сцены рабочего пространства робота, полученной обработкой сигналов от системы технического зрения, содержащей контуры препятствий и привязку к опорной системе координат

Требуется найти программные законы изменения обобщенных координат, обеспечивающей безколлизийное движение в среде с препятствиями.



Обзор существующих методов решения обратной задачи кинематики

$$r_p = \varphi(q),$$

Прямая задача заключается в определении положения робота и ориентации его звеньев в глобальной системе координат по заданным обобщенным координатам q .

Обратная задача представляет собой отыскание обобщенных координат по заданным положениям и ориентациям звеньев.

- Аналитическое решение
 - неоднозначность, сложность выражений, не всегда дает решение
- Минимизация нормы вектора невязки градиентными методами
 - зависимость от начального приближения, не всегда дает решение

$$\|r_p - \varphi(q)\| \rightarrow \min_{q \in Q \subset \mathbb{R}^n}$$

- Методы обращения матрицы Якоби
 - невозможность удобного учета коллизий, не всегда дает решение



Конкретизация постановки задачи

- Одна из возможных задач перевод робота из заданной начальной конфигурации q_0 в заданную конечную q_T
- Синтез программных законов движения

$$q^r = q^r(t), t \in [0, T], q^r(0) = q_0, q^r(T) = q_T$$

осуществляется на классе полиномиальных функций

- При этом действуют следующие ограничения:
 - конструктивных $\underline{q} \leq q \leq \bar{q}$;
 - кинематических $|\dot{q}| \leq \bar{\dot{q}}, |\ddot{q}| \leq \bar{\ddot{q}}$;
 - геометрических, соответствующих принятым условиям обхода пространственных препятствий.

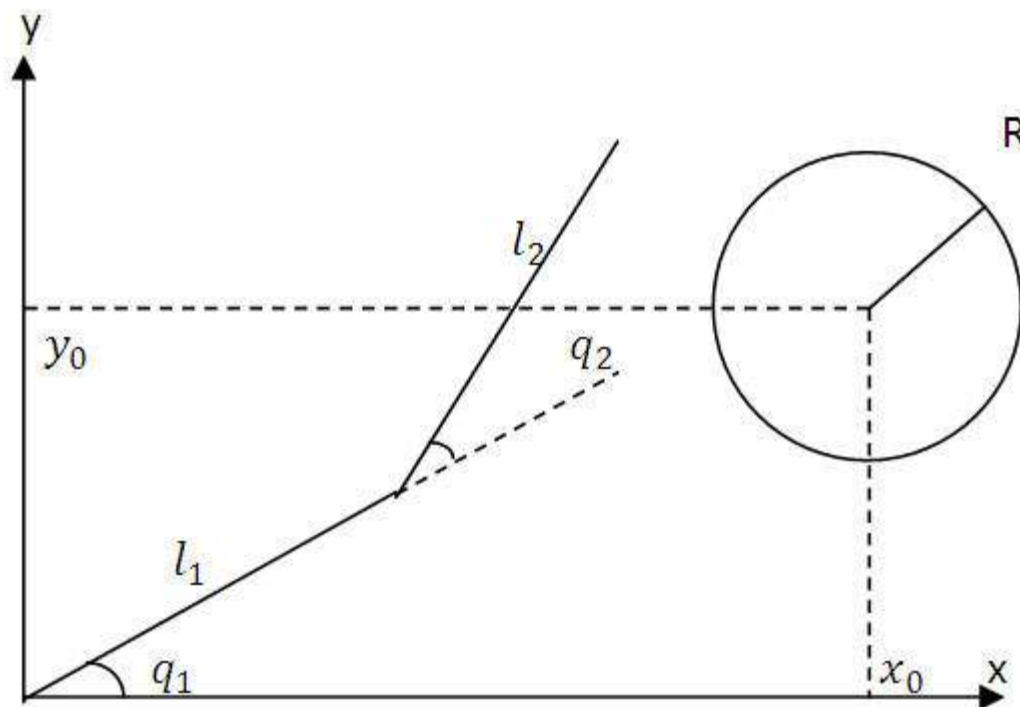


Основные этапы планирования законов движения методом конфигурационного пространства

1. Построение свободных зон в конфигурационном пространстве.
2. Планирование траекторий в свободных зонах с участием оператора.
3. Расчет и оптимизация траекторий на классе типовых законов движения.
4. Проверочное моделирование движения робота и расчет динамики.



Применение метода конфигурационного пространства

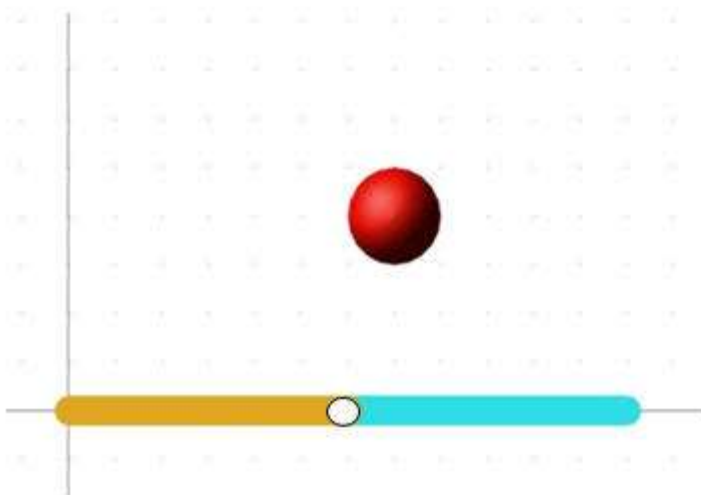


Двухзвенник на плоскости с препятствием в виде круга

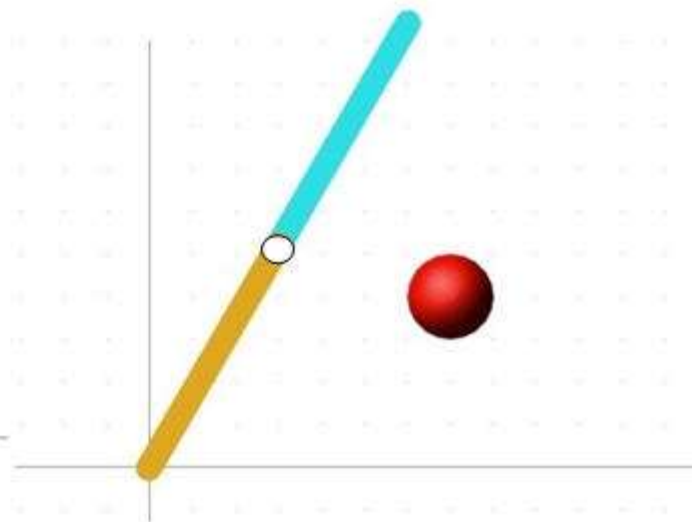


Требуется перейти из начального положения в
конечное без коллизий

Начальное положение

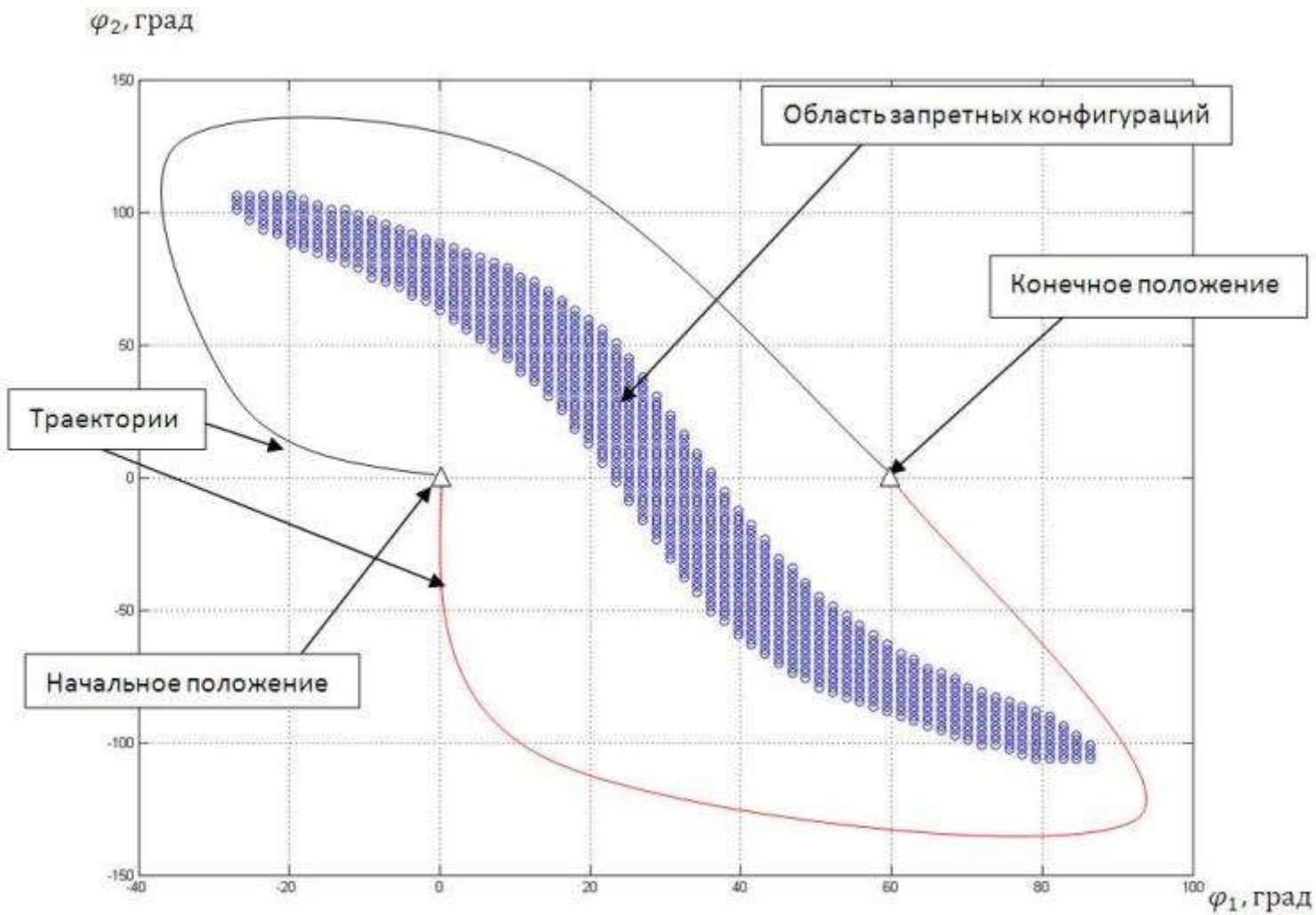


Конечное положение



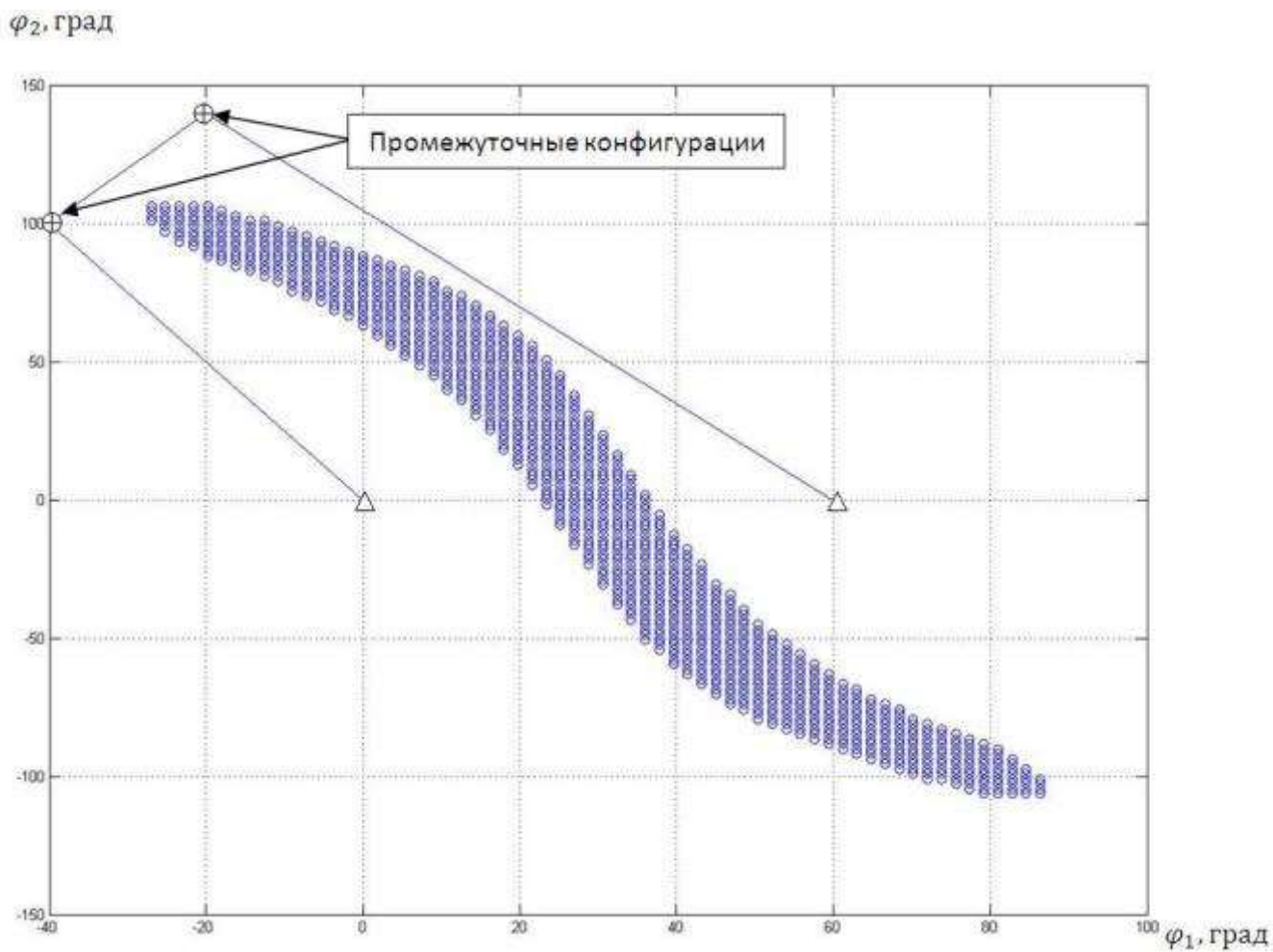


Карта столкновений



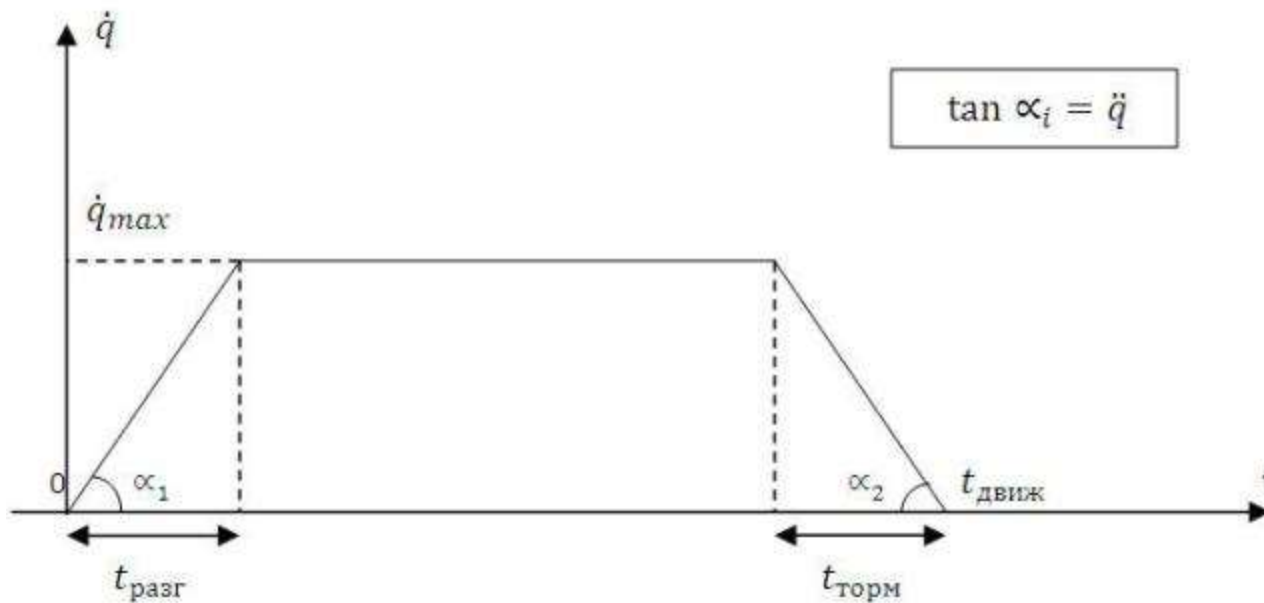


Промежуточные конфигурации на карте столкновений





Типовые законы движения

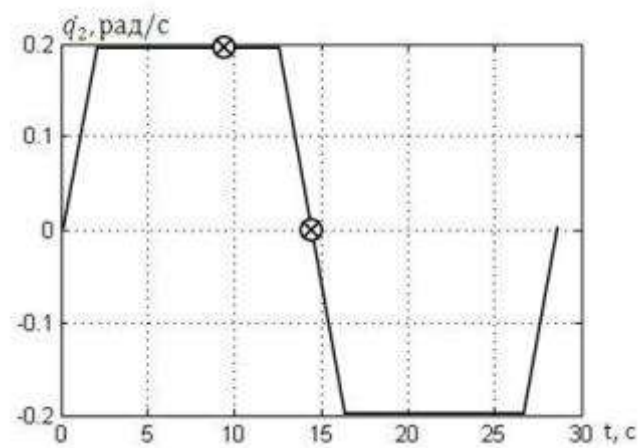
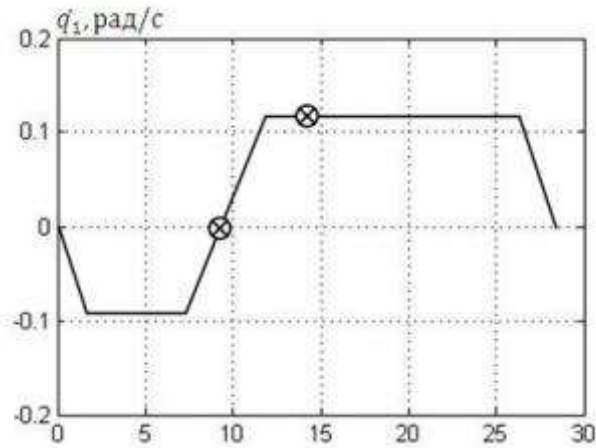


$$\tan \alpha_1 = \frac{\dot{q}_{max}}{t_{разг}}; \quad \tan \alpha_2 = \frac{\dot{q}_{max}}{t_{торм}};$$

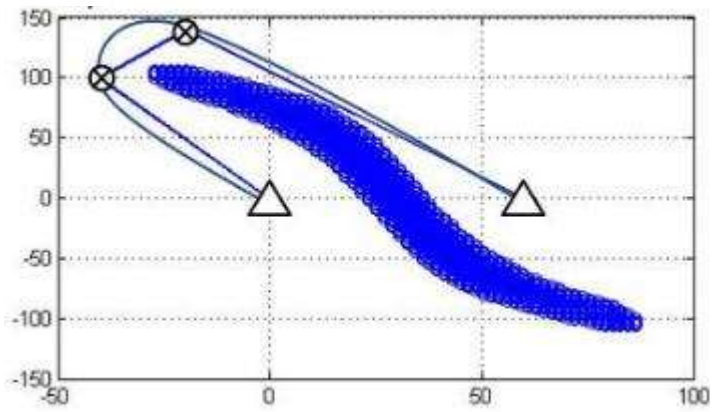
$$\dot{q}_{max} \cdot (t_{движ} - t_{торм}) + q_0 = q_T$$



Оптимизированное по быстродействию решение задачи



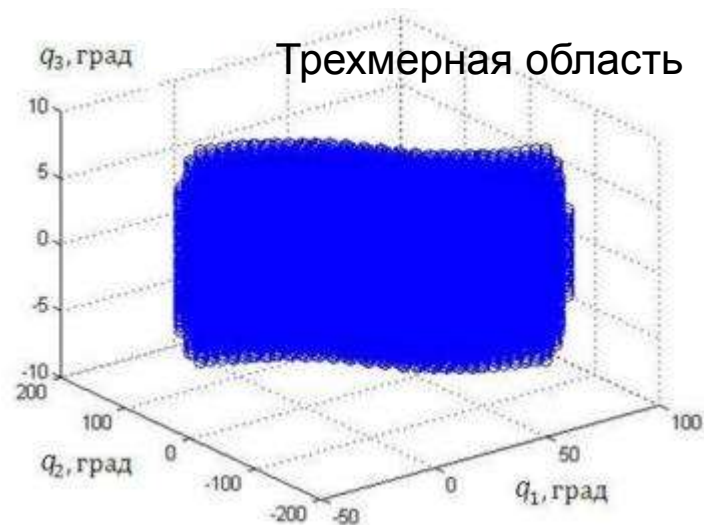
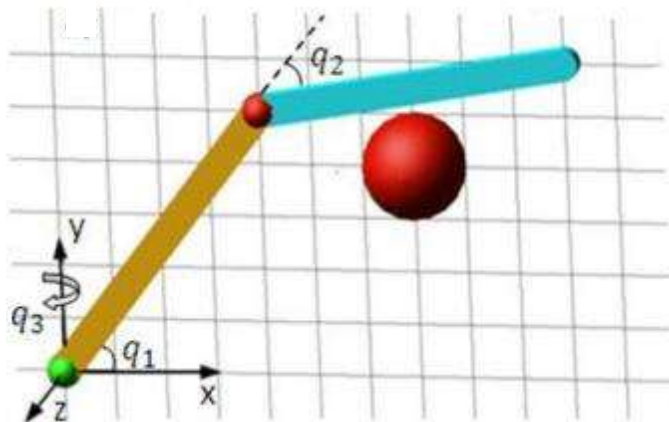
Last_Run Time: 0.1422 Frame:0011



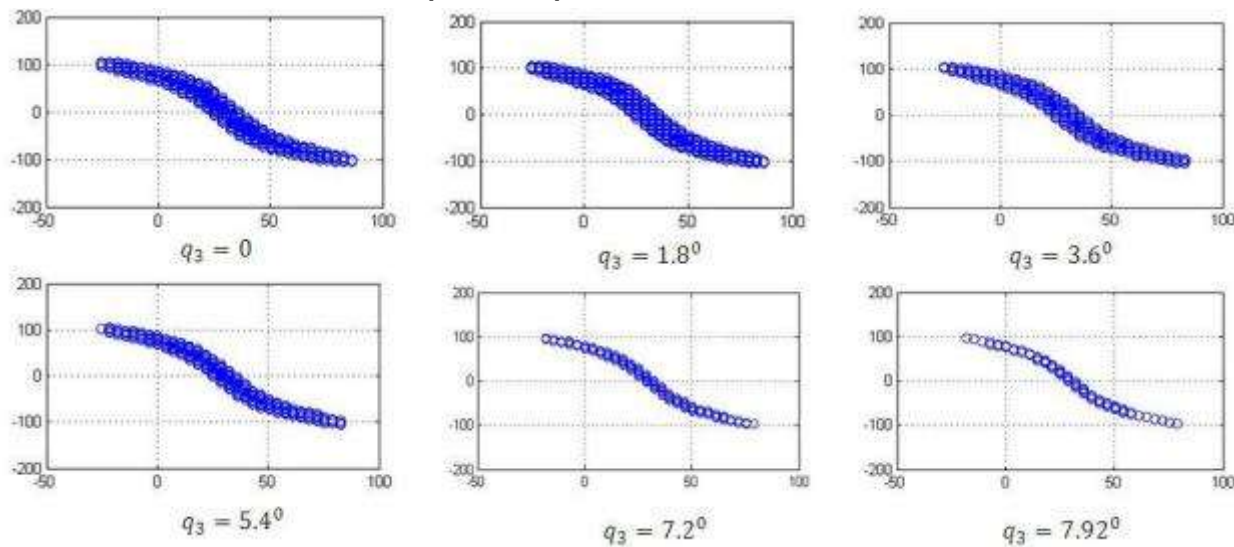
Карта столкновений (q_1, q_2)



Трёхмерная задача

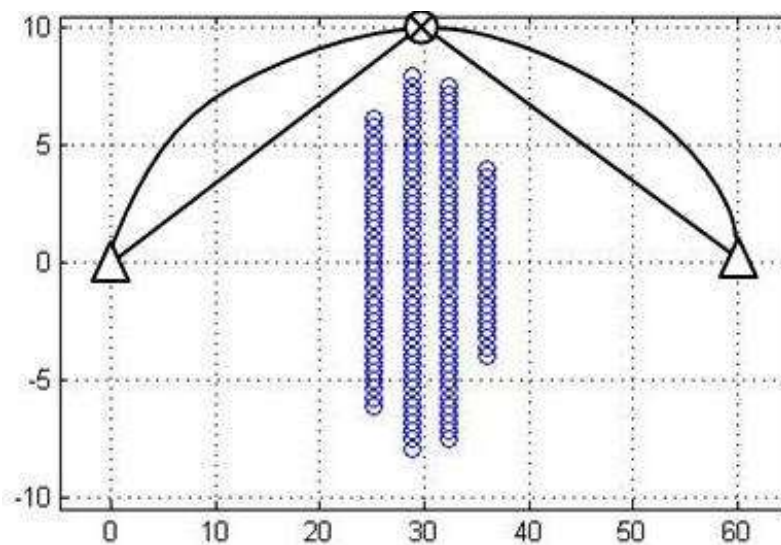
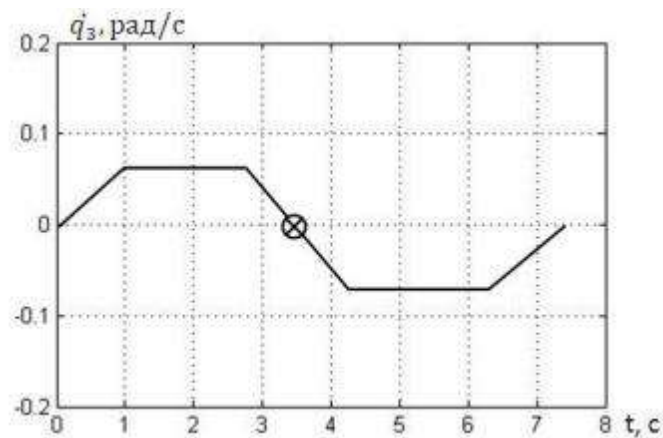
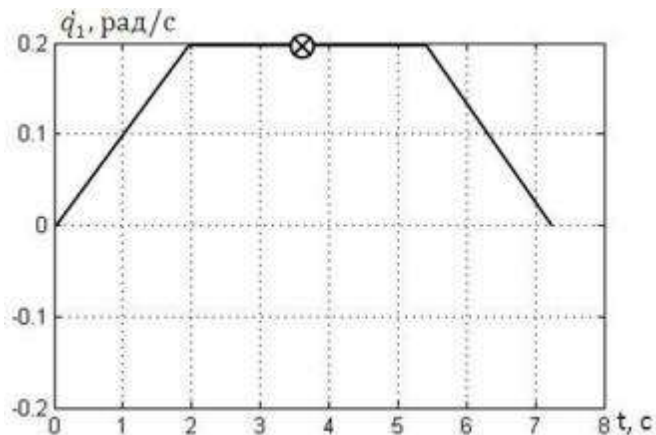


Серия карт столкновений





Решение трехмерной задачи

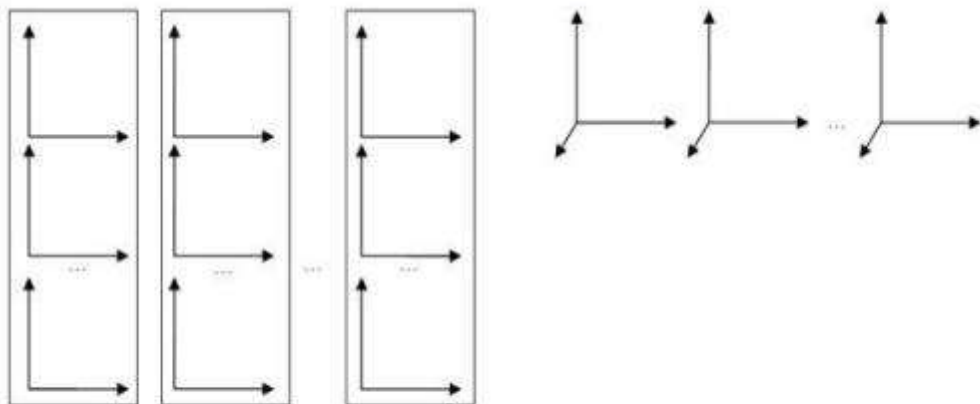


Карта столкновений (q_1, q_3)

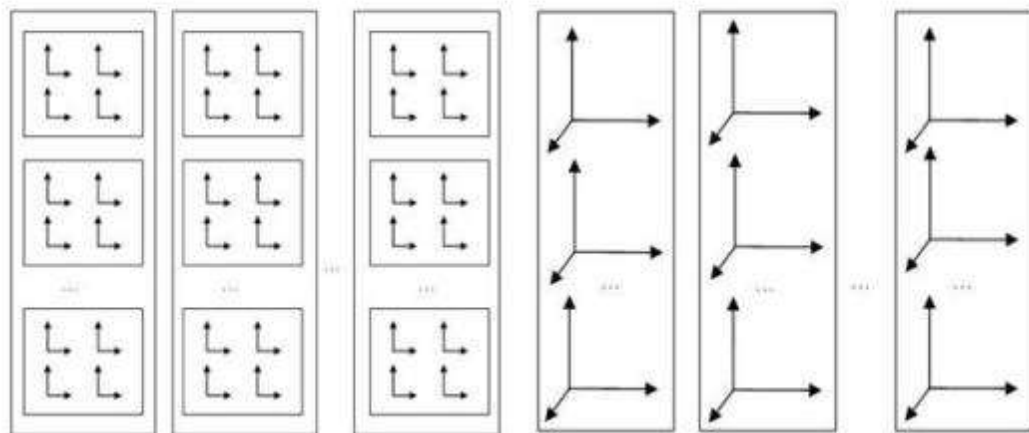


Предполагаемая визуализация многомерных конфигурационных пространств

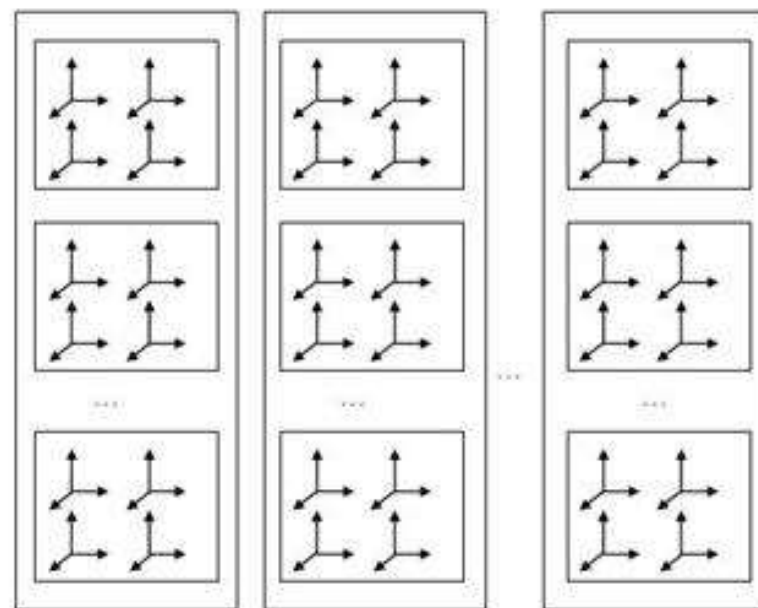
4 степени свободы



5 степеней свободы

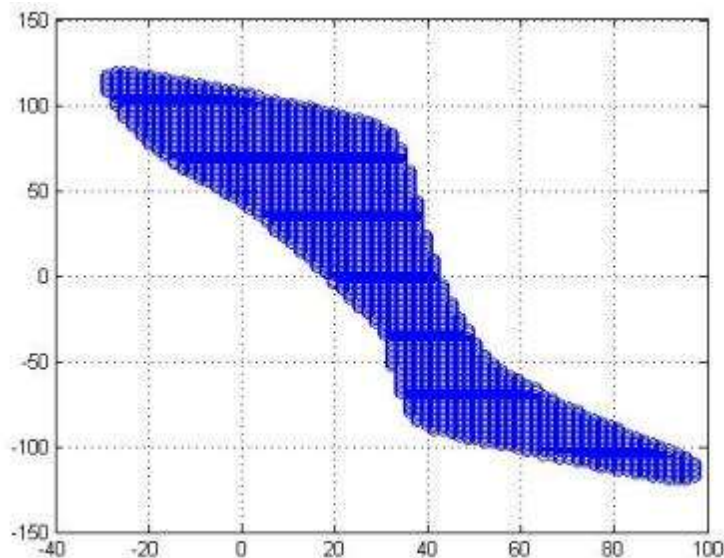


6 степеней свободы





Случай движущегося препятствия



Last_Run Time= 0.1450 Frame=002



Карта столкновений (q_1, q_2) с мажорантой

Полученное движение



Возможность априорного учета самопересечений

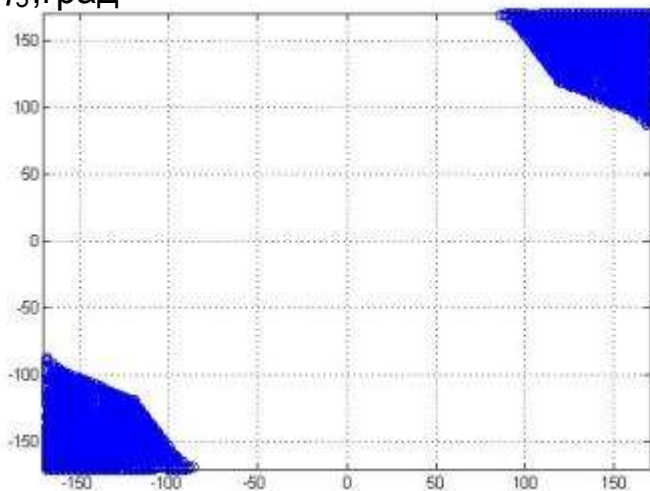
Трехзвенник



Четырехзвенник

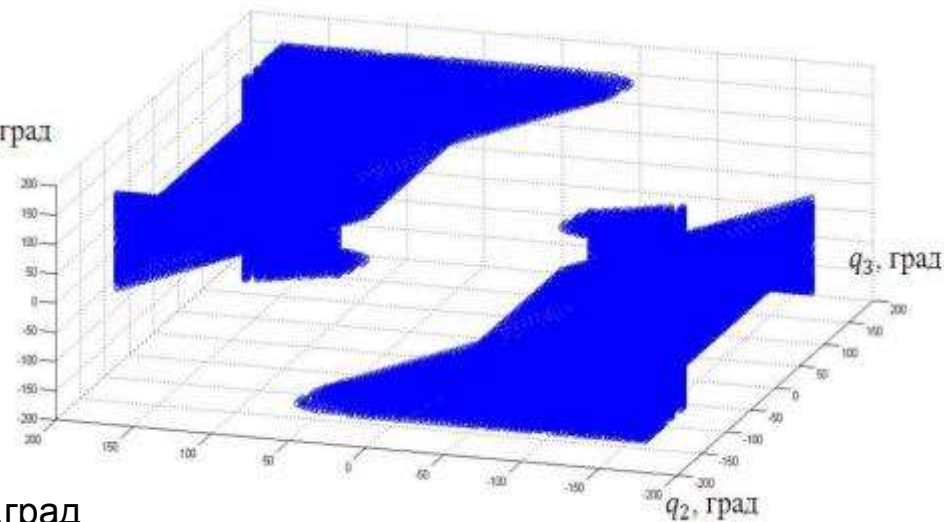


q_3 , град



q_2 , град

q_4 , град



q_2 , град



Использование универсальных программных средств

Универсальное программное обеспечение необходимо при

- планировании траектории (для определения промежуточной и конечной конфигураций)
- проверочном моделировании и расчете уравнений динамики (оценка моментов в шарнирах, визуальный анализ движения и возникновения коллизий)



Метод конфигурационного пространства

Преимущества

- Возможность максимального использования опыта оператора при планировании траектории.
- Возможность расчета и оптимизации траектории по разным критериям
- Возможность корректировки имеющихся ограничений
- Удобство задания конечной и промежуточных конфигураций
- Возможность использования универсального программного обеспечения

Проблемы

- Требовательность к времени расчета и вычислительным ресурсам
- Ограниченные возможности визуализации многомерных пространств
- Отсутствие учета динамики робота в явной форме



Перспективы развития

- Создание базы данных для удобного хранения многомерного конфигурационного пространства
- Совершенствование алгоритмов определения запретных зон
- Создание графического интерфейса оператора
- Доработка алгоритмов при работе в недетерминированных нестационарных средах
- Разработка удобного взаимодействия универсального программного обеспечения с интерфейсом оператора
- Создание полноценного блока оптимизации



Спасибо за внимание!