

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет»  
Факультет электроники и вычислительной техники  
Кафедра «Электронно-вычислительные машины и системы»

На правах рукописи

МАРКОВ АЛЕКСЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

???

Магистерская программа  
«Высокопроизводительные вычислительные системы»  
Направление подготовки 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени  
магистра

Волгоград – 2019

Работа выполнена на кафедре «Электронно-вычислительные машины и системы» Волгоградского государственного технического университета

Научный руководитель:

доктор технических наук,  
профессор Горобцов Александр Сергеевич

Рецензент:

TODO

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования.**

Использование беспилотных систем и интеллектуальных систем помощи водителю (ADAS) на дорогах общего пользования приведет к повышению безопасности дорожного движения по причине уменьшения человеческого фактора, увеличению пропускной способности дорог и дорожной инфраструктуры, уменьшению пробок, а также уменьшить количество личных автомобилей при сохранении текущих сценариев использования, что еще сильнее снизит нагрузку на инфраструктуру и загрязнение окружающей среды.

На кафедрах ЭВМиС, ВМ и АТ ВолгГТУ в настоящее время ведется разработка прототипа беспилотного автомобиля на базе автомобиля Лада Калина.

Основным результатом проводимых исследований является **TODO**

### **Цель и задачи работы.**

Целью данной работы является разработка системы управления движением беспилотного автомобиля. Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- 1) анализ существующих подходов к задаче управления беспилотными автомобилями в целом, выделение типичных подсистем,
- 2) проектирование подсистем управления движением беспилотным автомобилем,
- 3) реализация подсистем управления движением,
- 4) проведение экспериментов и оценка результатов работы.

**Объектом исследования является** процесс управления движением беспилотного автомобиля.

**Предметом исследования являются** алгоритмы и подходы к реализации системы управления движением беспилотного автомобиля.

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- 1) подход к локальному планированию траектории движения беспилотного автомобиля с помощью полиномов пятого порядка в системе координат Френе **TODO: уточнить перевод,**
- 2) разработанная архитектура системы управления беспилотным автомо-

билем.

**Научной новизной** работы является **TODO**

**Практическая ценность** работы заключается в:

- 1) программной реализации системы управления движением беспилотного автомобиля,
- 2) ...
- 3) ...

**Апробация** работы проводилась **TODO**

**Публикации.** По материалам диссертации автором **TODO: ничего не было опубликовано**

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из **23** наименований и насчитывает **TODO** страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается выбор темы диссертационного исследования и ее актуальность, определяются цели и задачи работы, объект и предмет исследования, формулируется научная новизна.

**В первой главе** анализируется типичный применяемый подход к построению систем управления беспилотными автомобилями и применяемые методы планирования движения. Анализируя источники по данной тематике, можно сделать вывод, что, несмотря на большое количество архитектур систем управления беспилотными автомобилями, можно выделить общие архитектурные концепции (рисунок 1).

В общем виде, систему управления беспилотным автомобилем можно разделить на следующие подсистемы:

- интерфейс сенсоров, позволяющий получать данные от сенсоров;
- подсистема восприятия (perception), осуществляющая построение комплексной информации об окружающем пространстве, на основе данных от сенсоров;
- подсистема управления движением, осуществляющая принятие реше-

ний и построение безопасной и достижимой траектории и осуществляющая движение по траектории, формирования управляющих сигналов, таких как угол поворота руля, газ, тормоз.

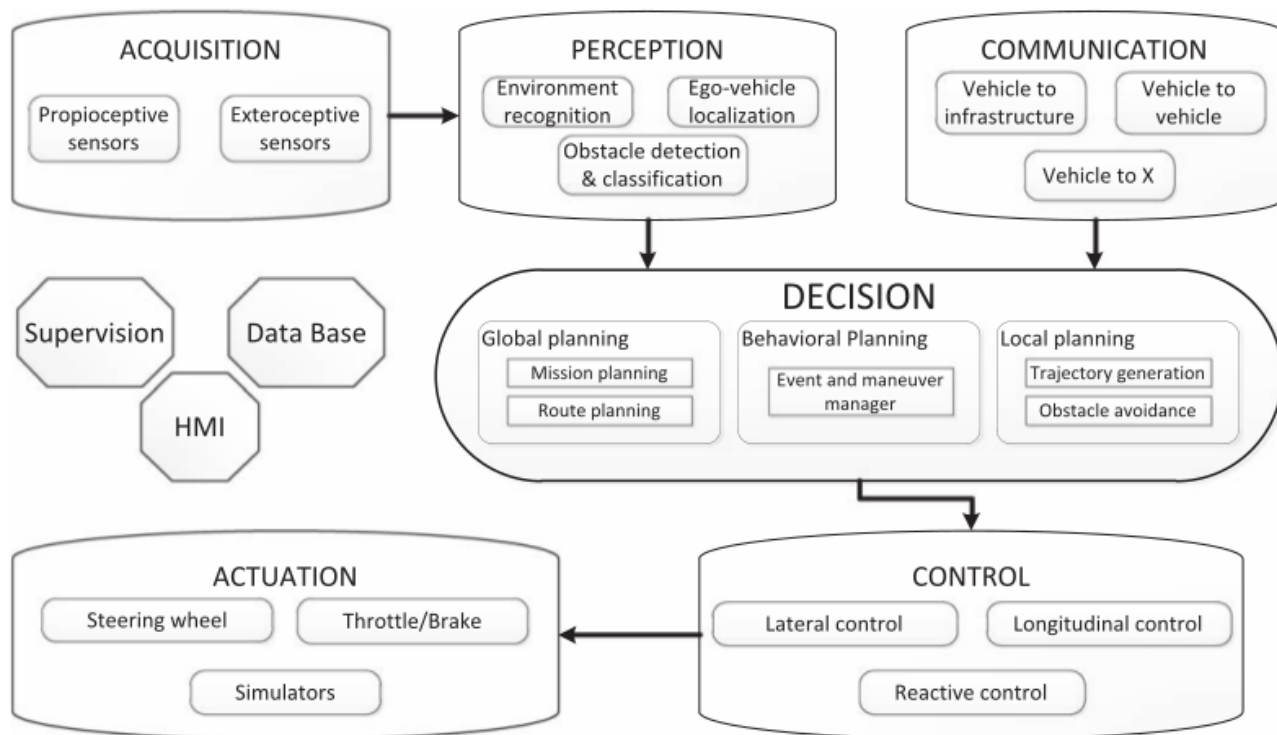


Рисунок 1 – Обобщенная абстракция архитектуры управления автономными автомобилями

Процесс планирования движения и принятия решений в современных беспилотных автомобилях обычно представлен в виде иерархии: планирование маршрута (route planning), принятие решений (behaviour planning, decision making), локально планирование (local motion planning) и управление с обратной связью.

На верхнем уровне осуществляется планирование маршрута по дорожной сети. Затем следуют уровень планирования поведения, который принимает решения и формирует локальные навигационные задачи, которые приближают автомобиль к выполнению высокоуровневой задачи и удовлетворяют правилам дорожного движения. Затем локальный планировщик формирует непрерывный кинематически и динамически достижимый путь в обход препятствий в окружающем пространстве, который выполняет локальную навигационную задачу.

Система управления с обратной связью осуществляет выполнение запланированного движения и коррекцию ошибок.

В данной работе основной акцент делается на планировании локального движения. Рассматривается ряд распространенных методов планирования движения: метод планирования на графах, в частности, метод клеточной декомпозиции, случайные (sample-based) методы, основанные на алгоритме Rapidly Exploring Random Trees (RRT) и его модификациях, методы интерполяции траектории с помощью кривых.

**Во второй главе** рассматривается проектирование системы управления движением беспилотного автомобиля.

Для планирования локальной траектории траектории выбран метод интерполяции кривыми, а именно, полиномами пятого порядка. Метод интерполяции выбран по причине его детерминированности и возможности находить оптимальное или близкое к нему решение.

Планирование траектории осуществляется в подвижной системе координат (с.к. Френе **TODO: перевод**), движущейся по идеальной траектории, как показано на рисунке 2. В качестве идеальной траектории выступает центр полосы движения. Это является распространенным подходом к планированию движения и позволяет рассмотреть независимо планирование поперечного движения и продольного движения (профиля скорости).

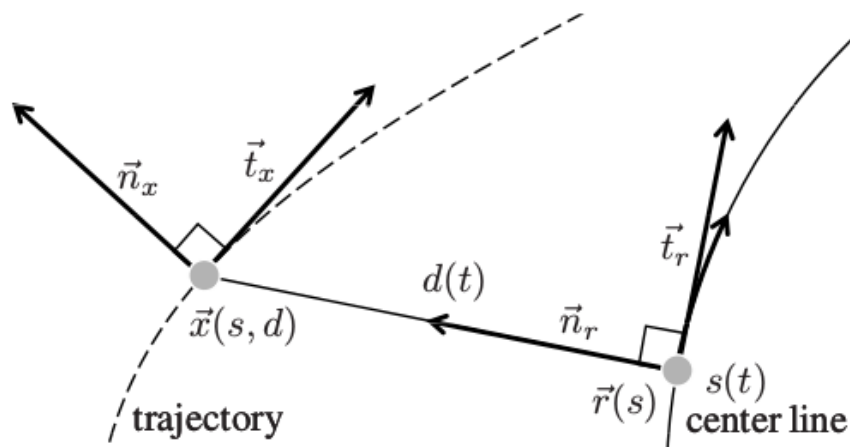


Рисунок 2 – Система координат для планирование траектории

Для нахождения оптимальной траектории, определена функция стоимости, основанная на минимизации рывков (jerk), т.е. производной ускорения. Такая функция стоимости позволит планировать траектории, избегающие излишнего количества маневров или резких маневров. Функции стоимости определяются независимо для поперечного (1) и продольного (2) движения.

$$J_d = k_{jd} \int_0^S \ddot{d}(s)ds + k_{sd}S + k_{dd}(s(T))^2 \quad (1)$$

$$J_s = k_{js} \int_0^T \ddot{s}(t)dt + k_{ts}T + k_{ss}[s_{target} - s(T)]^2 \quad (2)$$

- где  $s(t)$  — продольная траектория,  
 $d(t)$  — поперечная траектория,  
 $T$  — время маневра,  
 $s_{target}$  — целевое продольное положение,  
 $k_{jd}, k_{sd}, k_{dd}$  — весовые коэффициенты для поперечного движения,  
 $k_{js}, k_{ts}, k_{ss}$  — весовые коэффициенты для продольного движения.

При выборе оптимальной траектории необходимо учитывать ограничения на максимальную скорость, ускорение, угол поворота, накладываемые кинематикой и динамикой автомобиля, а также выбирать траекторию, не пересекающуюся с препятствиями. Оптимизация с учетом этих ограничений является затруднительной и типичным подходом является формирование набора траекторий и выбора оптимальной. Происходит формирование набора траекторий путем варьирования конечных условий, а затем выбор наиболее оптимальной из них, удовлетворяющей ограничениям. Пример формирования набора траекторий и выбора оптимальной приведен на рисунке 3.

Для реализации рулевого управления с обратной связью применена упрощенная модель на базе модель МакАдама.

Управляющий сигнал для рулевого управления получается с помощью пропорционального (П) регулятора из угла между текущим направлением движения автомобиля (вектором скорости) и направлением на точку траектории на некотором расстоянии впереди. Это позволяет учитывать будущие изменения в

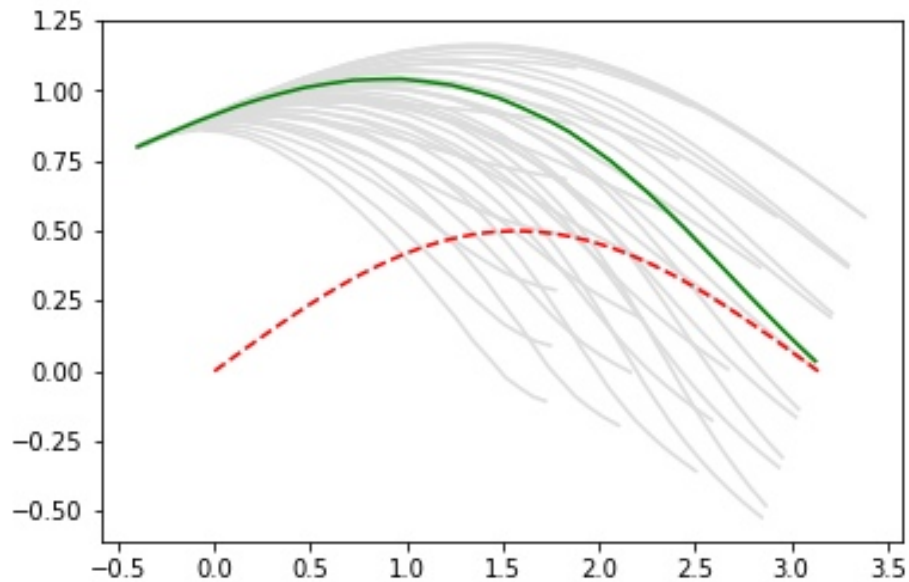


Рисунок 3 – Пример формирования траекторий и выбора оптимальной

траектории и реагировать на них заранее.

По причине того, что траектория представлена в виде большого количества плотно расположенных точек, выбор необходимой точки осуществляется следующим образом: в начале находится ближайшая к автомобилю точка на кривой, а затем от этой точки вперед по траектории перебираются точки, до тех пор, пока расстояние от очередной точки до положения автомобиля не будет больше заданного (рисунок 4).

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РАБОТЫ

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ



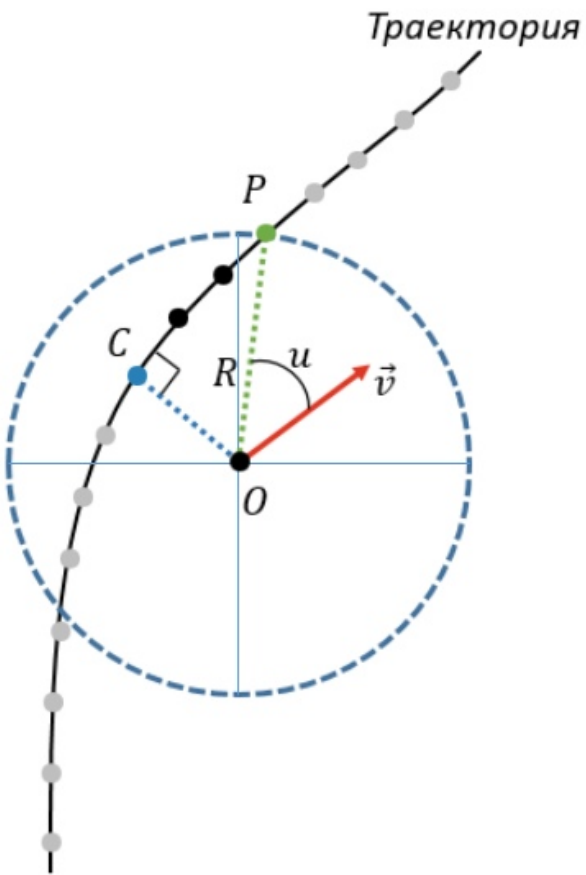


Рисунок 4 – Пример формирования траекторий и выбора оптимальной