

Автоматическая калибровка внешних параметров широкоугольных камер в автомобильных системах кругового обзора

Выпускная квалификационная работа
Петров Алексей Андреевич

Научный руководитель:
ст. преп., канд. ф.-м. наук, Д.В.Луцев

Консультант:
ст.преп., А.А.Пименов

Рецензент:
“LG Electronics”, руководитель проекта
В.В.Новосельский

11.06.2020

Обзор предметной области



Рис.1: Типичный вид системы кругового обзора*



Рис.2: Калибровка системы на заводе**

- Устройство системы кругового обзора (AVM)
- Процесс калибровки камер на заводе
- Проблемы калибровки

* источник: <https://youtube.com/watch?v=7IP1uX3KE3E>

** источник: <https://car360view.ru>

Постановка задачи

Целью данной работы является разработка эффективной и производительной программной системы автоматической калибровки внешних параметров широкоугольных камер кругового обзора автомобиля, для работы которой не требуются заранее известные калибровочные объекты.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи.

- Анализ существующих методов решения проблемы
- Выбор основного подхода к реализации
- Создание архитектуры системы
- Создание прототипа
- Тестирование системы на реальных данных

Анализ существующих методов

Научная работа	Использование начального приближения	Количество вычисляемых параметров (на 4 камеры)	Использование одометрии	Что используется в качестве калибровочных объектов	Использование пересечения полей зрения камер	Вычислительная сложность
Natroshvili et al. (2017)	нет	24	нет	заранее известные паттерны	нет	низкая
Liu et al. (2019)	да (очень близкое)	-	нет	-	да	низкая
Choi et al. (2018)	нет	12 (только вращение)	нет	прямые линии дорожной разметки	да	низкая
Zhao et al. (2014)	да (очень близкое)	8 (только по два угла)	нет	сегменты линий разметки	нет	низкая
Heng et al. (2013)	нет	20 (кроме высот)	да	все ключевые точки	нет	высокая
Heng et al. (2015)	нет	24	да	карта инфраструктуры	нет	высокая
Knorr et al. (2013)	да	23 (кроме масштаба)	нет	ключевые точки с поверхности земли	нет	средняя
Knorr et al. (2018)	да	23 (кроме масштаба)	нет	все ключевые точки	да	средняя

Таблица 1: Сравнение научных работ по выбранным критериям

Выбор подхода к реализации: требования

Конкретизация требований:

- Цель для пользователя – визуальное качество сшивки виртуального вида сверху
- Уточнение уже имеющихся параметров, имеющаяся ошибка не более 10° по углам и 100мм по расстояниям
- Вычисление абсолютных значений внешних параметров
- Допустимые средние остаточные ошибки не более 0.5° по углам и 20мм по расстояниям
- Средняя вычислительная сложность

Выбор подхода к реализации

Постановка задачи + анализ работ + требования = выбор подхода:

- Плоскость земли как естественный калибровочный объект
- Использование начального приближения
- Сходимость во времени к искомым параметрам с помощью фильтра Калмана
- Использование одометрии как источника масштаба
- Координаты точек, имеющих геометрические ограничения, в качестве измерений
- Финальная сшивка групповым выравниванием (bundle adjustment)

Архитектура решения

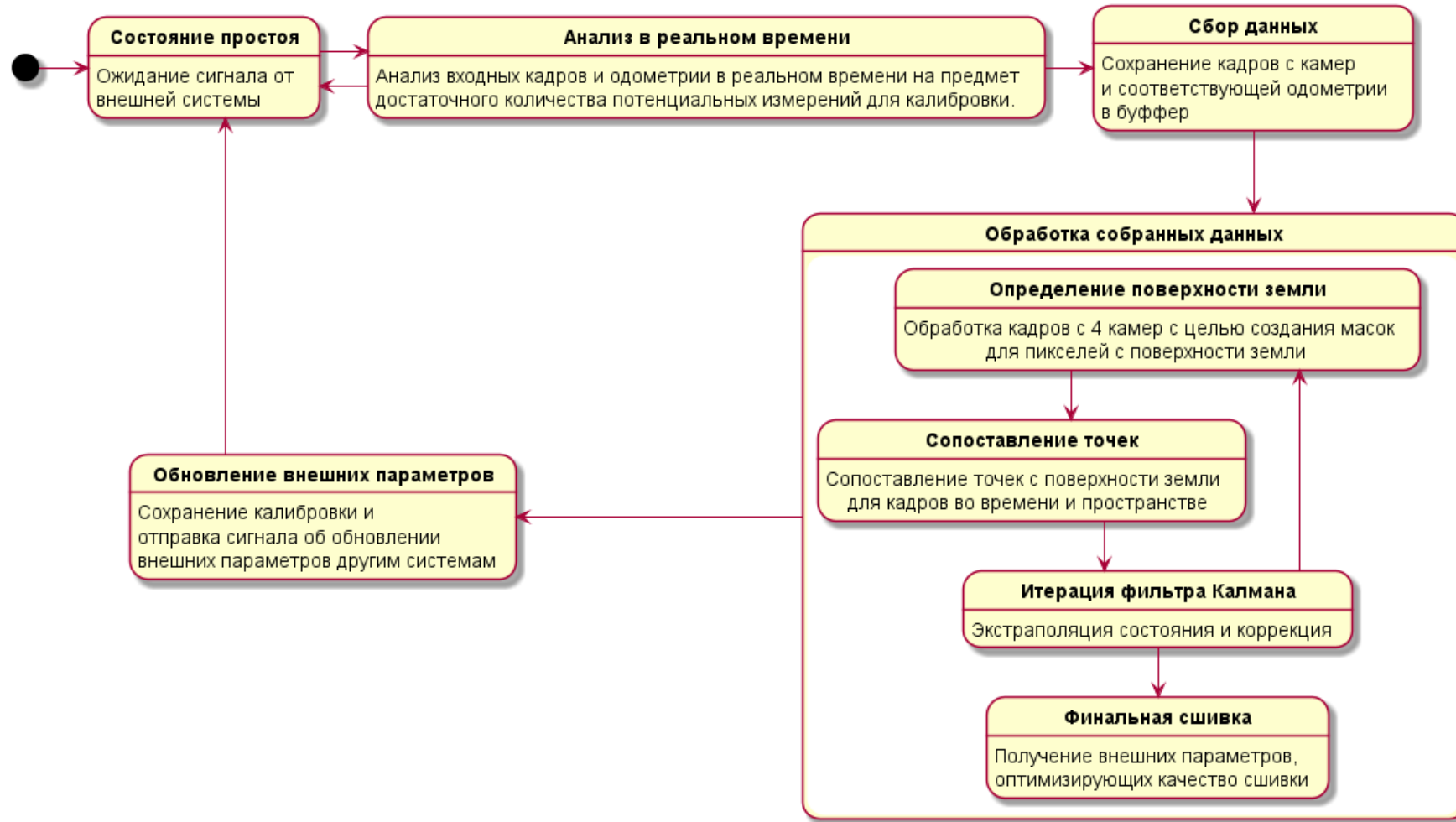


Рис.3 Диаграмма состояний системы автоматической калибровки

Прототип: определение поверхности земли



Рис. 4. Ручная разметка (синий) и выход нейросети (красный)

Прототип: сопоставление точек

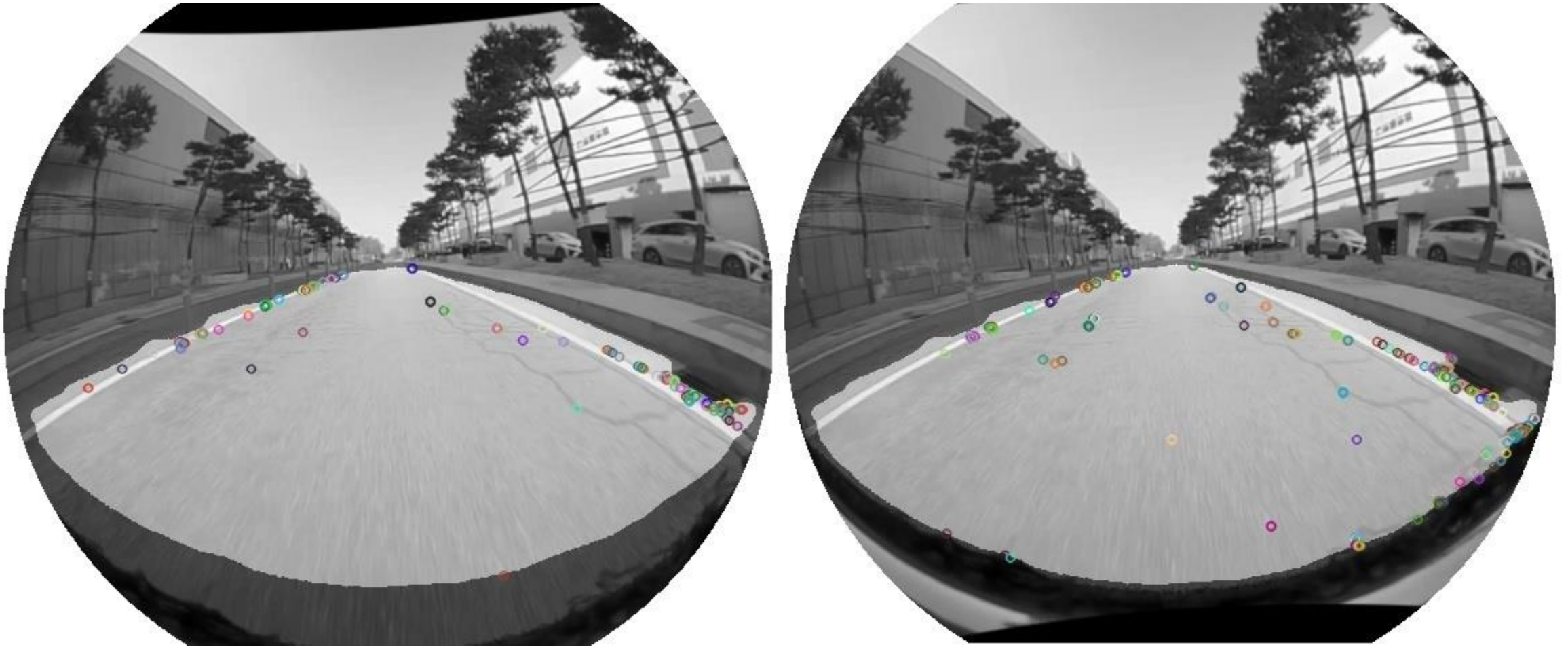


Рис. 5. Сопоставление точек во времени (передняя камера)

Прототип: сопоставление точек

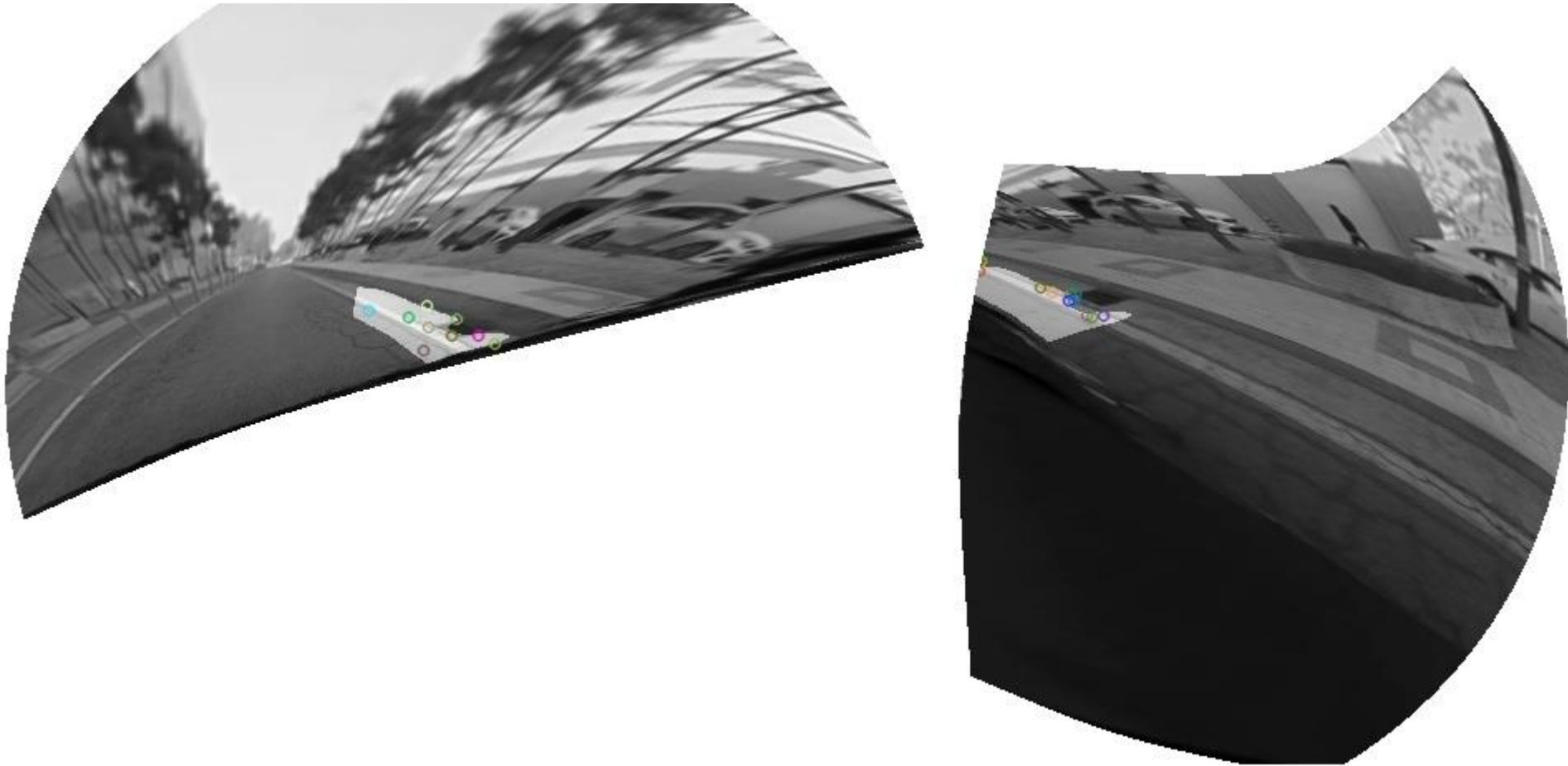


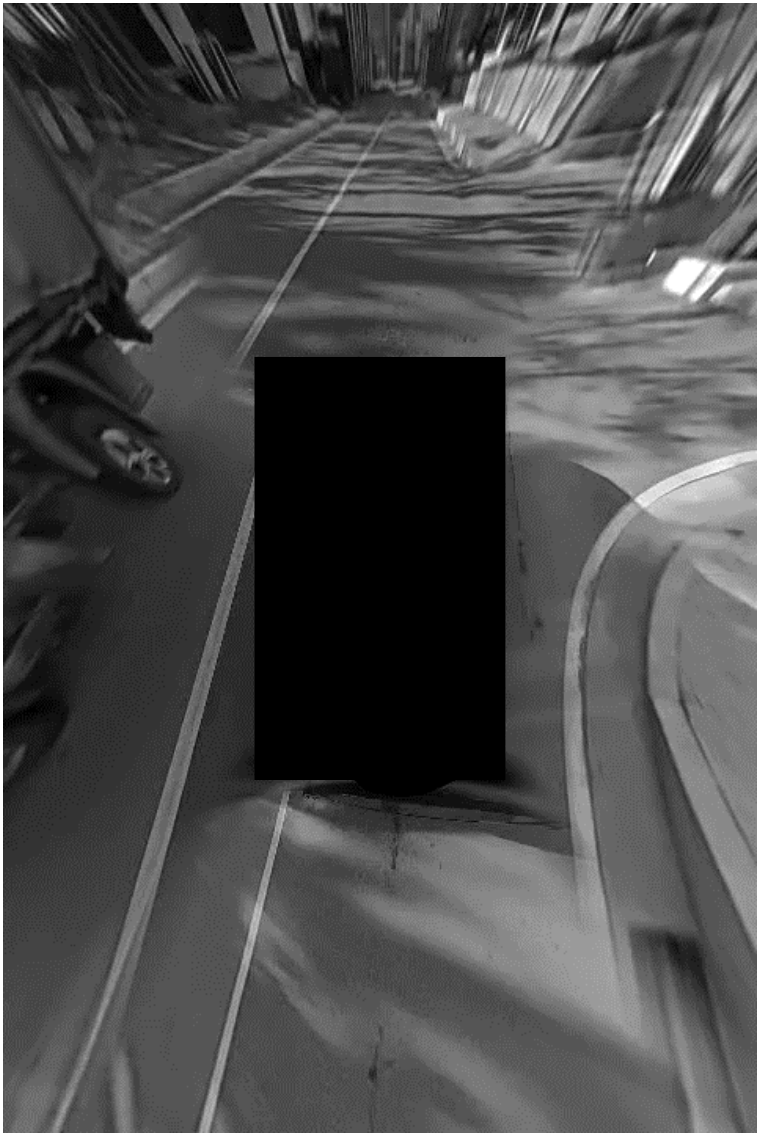
Рис. 6. Сопоставление точек в пространстве (передняя и левая камеры)

Прототип: фильтр Калмана

			Одометрия (управление) и измерения в виде координат сопоставленных точек								
			одометрия	передняя камера во времени	левая камера во времени	задняя камера во времени	правая камера во времени	передняя и левая камеры в пр-ве	передняя и правая камеры в пр-ве	задняя и левая камеры в пр-ве	задняя и правая камеры в пр-ве
Компоненты вектора состояния	одометрия	α									
		Δx									
		Δy									
	вращение передней камеры	rx_front									
		ry_front									
		rz_front									
	позиция передней камеры	tx_front									
		ty_front									
		tz_front									
	вращение левой камеры	rx_left									
		ry_left									
		rz_left									
	позиция левой камеры	tx_left									
		ty_left									
		tz_left									
	вращение задней камеры	rx_rear									
		ry_rear									
		rz_rear									
позиция задней камеры	tx_rear										
	ty_rear										
	tz_rear										
вращение правой камеры	rx_right										
	ry_right										
	rz_right										
позиция правой камеры	tx_right										
	ty_right										
	tz_right										

Рис. 7. Влияние одометрии и измерений на конкретные компоненты вектора состояния системы

Тестирование эффективности



Тестирование эффективности

- 15 наборов данных по 200 последовательных кадров с реальных автомобильных камер
- Средняя остаточная ошибка на всех данных: в углах 0.3° , в расстояниях 15мм, не более заданной
- Проверка допустимого начального приближения: ошибка 10° , 100мм сходится менее чем за 100 кадров
- Тестирование надежности: 20° , 200мм сходится менее, чем за 200 кадров

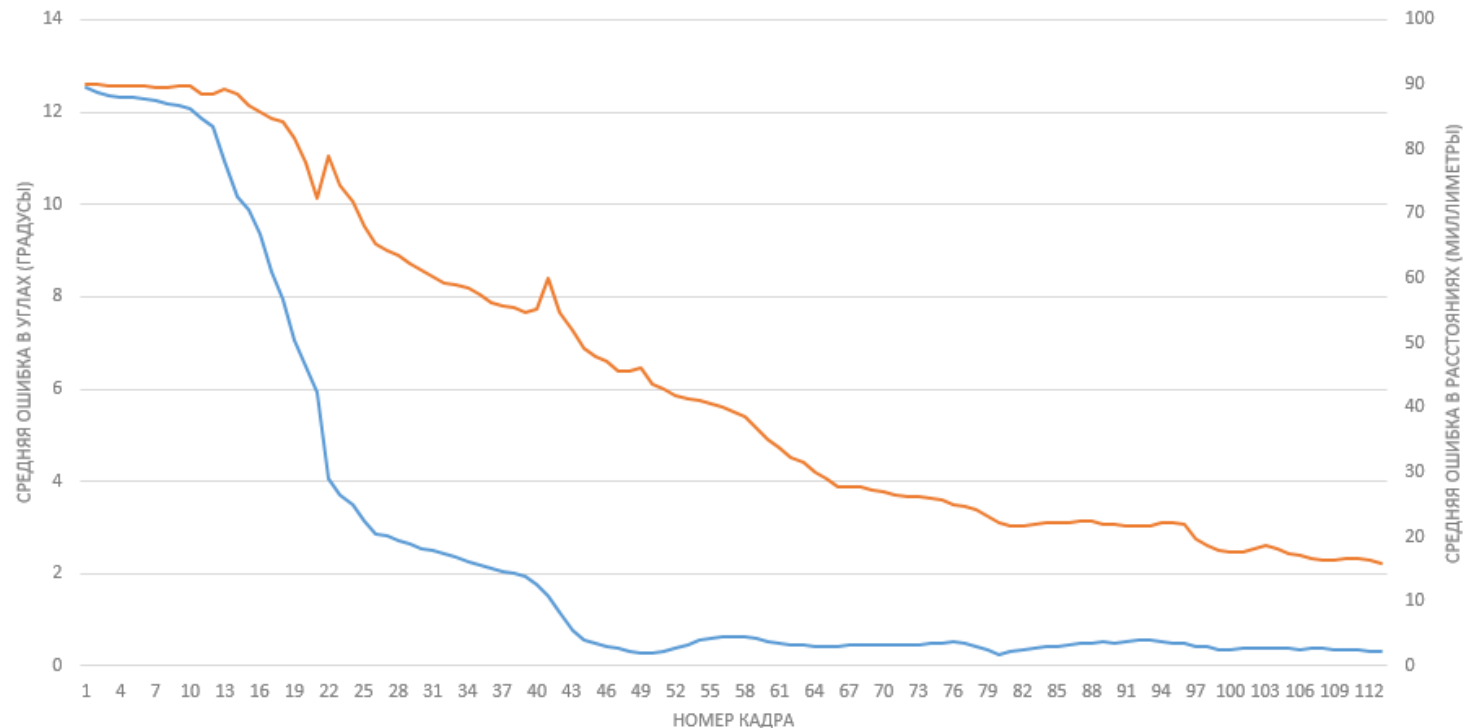


Рис. 8. Остаточная ошибка в углах (синий) и расстояниях (оранжевый) во времени на одном из наборов данных

Результаты

Согласно поставленным задачам, получены следующие результаты.

- Произведен анализ и сравнение существующих научных работ по теме
- Выбран основной подход к реализации
- Создана архитектура решения
- Создан прототип системы
- Система протестирована на реальных данных, показана эффективность решения