

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра математической кибернетики и компьютерных наук

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ПОИСКА
ПОЛОСЫ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО АВТОМОБИЛЯ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 411 группы
направления 02.03.02 — Фундаментальная информатика и информационные
технологии
факультета КНиИТ
Грищенко Владимира Олеговича

Научный руководитель

к. ф.-м. н., доцент

Ю. Н. Кондратова

Заведующий кафедрой

к. ф.-м. н., доцент

С. В. Миронов

Саратов 2024

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире автомобильная индустрия стремительно движется в направлении автономных транспортных средств, перспективы которых обещают революционизировать способы передвижения. Одним из ключевых аспектов развития беспилотных автомобилей является разработка эффективных алгоритмов компьютерного зрения, способных обрабатывать и анализировать информацию, поступающую с встроенных камер. В данной работе фокусируется внимание на реализации алгоритма для автоматического определения дорожных линий (прерывистых или сплошных), используемых для обозначения краёв дорожной полосы, с использованием компьютерного зрения. Входными данными для алгоритма являются изображения, получаемые с помощью камеры, установленной на передней части автомобиля и направленной на дорогу, соответственно направлению движения автомобиля.

Дорожные полосы играют ключевую роль в обеспечении безопасности движения, поэтому точное и быстрое их распознавание является необходимым условием для успешной навигации автономных транспортных средств. Разработка алгоритма автоматического определения дорожной разметки представляет собой сложную задачу, требующую интеграции различных методов компьютерного зрения, обработки изображений и машинного обучения.

Целью данной работы является реализация алгоритма, способного в автоматическом режиме, используя методы компьютерного зрения, выделять дорожные линии на изображении, поступающем с камеры автомобиля. Выделение линий открывает возможность для определения меры кривизны дорожной полосы, внутри которой движется автомобиль, что непосредственно влияет на угол поворота руля, задаваемый программой.

Для реализации алгоритма поиска полосы движения беспилотного автомобиля, необходимо решить следующие задачи:

- коррекция искажения, создаваемого линзой камеры;
- выделение дорожных линий на изображении;
- преобразование перспективы к дорожной разметке;
- корректировка кривизны дорожных линий.

Структура и объём работы. Для решения поставленных задач была выполнена выпускная квалификационная работа, которая включает в себя такие

главы, как «Введение», «Алгоритм поиска полосы движения», «Реализация алгоритма поиска полосы движения», «Заключение», «Список использованных источников», а также четыре приложения к работе. Список использованных источников содержит 22 наименования. Работа изложена на 108 страницах и содержит 62 рисунка и 1 таблицу.

В главе «Введение» обозначается актуальность работы, даётся краткое описание направления работы и ставится цель.

Глава «Алгоритм поиска полосы движения» содержит теоретическое описание подходов, используемых в программе, для автоматического поиска полосы движения.

Глава «Реализация алгоритма поиска полосы движения» включает подробное описание реализации программы для автоматического поиска полосы движения.

Выпускная квалификационная работа заканчивается заключением, списком использованных источников и приложениями с кодом А-Г.

1 Основное содержание работы

Поведение автономного автомобиля может быть представлено в виде цикла, состоящего из трёх базовых последовательных этапов:

1. Восприятие окружающего мира;
2. Принятие решения о том, какие действия необходимо предпринять, опираясь на информацию, полученную на первом этапе;
3. Реализовать решение, принятое на втором этапе.

Чтобы получать информацию об окружающем мире, беспилотный автомобиль использует разнообразные типы датчиков, такие как радары, лидары и камеры. Информация, получаемая автомобилем об окружающем мире, используется в работе его различных модулей. Например, с помощью радаров и лидаров беспилотник определяет пешеходов, автомобили и иные препятствия. На основе положения и измеренной скорости, компьютер рассчитывает траекторию окружающих объектов, чтобы исключить столкновение. В свою очередь, данные, получаемые с оптической камеры, служат для поиска дорожной разметки, определения дорожных знаков, светофоров и иных элементов, для детекции которых требуется высокое пространственное разрешение, а также информация о цвете, которую не могут дать лидары и радары.

Угол поворота руля беспилотного автомобиля базируется на мере кривизны дорожной полосы. Беспилотный автомобиль использует информацию с оптической камеры, направленной на дорогу, для того, чтобы распознавать дорожные линии и определять меру их кривизны.

1.1 Коррекция искажения камеры

Большинство современных оптических камер построено с использованием собирающих линз, фокусирующих попадающие на линзу лучи света на фотоматрице камеры. За счёт того, что линза является изогнутой, фотоны, попадающие на края линзы, имеют более сильное отклонение, нежели фотоны, падающие в центральную область. По этой причине, края изображения деформируются, а объекты по краям изображения меняют свои форму и размер.

Искажение в общем случае может быть представлено в виде пяти чисел, называемых коэффициентами искажения:

$Distortion_{coefficients} = (k_1, k_2, p_1, p_2, k_3)$. Эти коэффициенты содержат в себе информацию о мере радиального и тангенциального искажения камеры. В неко-

торых случаях сильного искажения может понадобиться более пяти коэффициентов для описания величины искажения.

Для коррекции радиального искажения используются три коэффициента k_1, k_2, k_3 . Чтобы преобразовать точки искажённого изображения в точки неискажённого изображения, используются два следующих уравнения:

$$\begin{cases} x = x_{corrected}(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \\ y = y_{corrected}(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \end{cases} \quad (1)$$

В примере ниже, (x, y) – точка в искажённом изображении. Чтобы нивелировать искажение, предварительно вычисляется расстояние r , являющееся расстоянием между этой же точкой $(x_{corrected}, y_{corrected})$, но в избавленном от искажения изображении, и центром искажения (который, как правило, является центром изображения) (x_c, y_c) . Эта центральная точка (x_c, y_c) также часто носит название «центр искажения».

Для коррекции тангенциального искажения, в свою очередь, используются оставшиеся два коэффициента p_1 и p_2 . Тангенциальное искажение может быть исправлено с использованием следующих уравнений:

$$\begin{cases} x_{corrected} = x + [2p_1xy + p_2(r^2 + 2x^2)] \\ y_{corrected} = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy] \end{cases} \quad (2)$$

В целях измерения искажения камеры оцениваются внутренние параметры камеры, для чего традиционно используется узор шахматной доски, поскольку его неискажённый образ известен заранее. Помимо этого, шахматная доска также представляет собой повторяющийся высококонтрастный узор, который легко распознаётся с помощью средств компьютерного зрения. С помощью фотографий узора шахматной доски с разных ракурсов, в конечном счёте выводится преобразование, позволяющее трансформировать точки неискажённого изображения в точки искажённого изображения.

1.2 Поиск дорожных линий с помощью компьютерного зрения

Для определения дорожных линий необходимо преобразовать изображение, получаемое с камеры автомобиля, таким образом, чтобы удалить большую бесполезной информации и выделить полезную. Для этих целей, к изображению можно применить оператор Собеля – дискретный дифференциальный оператор,

вычисляющий приближённое значение градиента яркости изображения. Применение оператора Собеля является одним из способов вычисления производной изображения по осям x и y . Другими словами, с помощью оператора Собеля можно вычислить градиент изображения.

Градиент изображения принимает наибольшее значение в тех местах изображения, где разница между соседними пикселями велика. Такой подход позволяет эффективно выделить дорожные линии, так как их цвет сильно отличается от цвета дорожного полотна.

Градиент изображения обладает направлением. Направлением градиента называется обратный тангенс от значения, полученного в результате деления градиента по оси y на градиент по оси x , то есть $\arctan(sobel_y/sobel_x)$. После применения операции вычисления направления градиента, каждый пиксель результирующего изображения будет иметь значение угла между осью абсцисс и направлением градиента в этой точке. Значение, содержащееся в пикселе, будет измеряться в радианах и удовлетворять диапазону от $-\pi/2$ до $\pi/2$. Значение ноль будет подразумевать вертикальную линию, а значения $\pm\pi/2$ подразумевают горизонтальные линии.

Комбинируя отдельные градиенты по осям x и y с общим градиентом изображения (по осям x и y одновременно) и направлением градиента, а также применяя ко всем этим величинам ограничивающие диапазоны, можно добиться хороших результатов, при которых практически вся лишняя информация пропадёт с изображения.

Цветовое пространство RGB также является не лучшим выбором для выделения дорожных линий, так как на него оказывает сильное влияние изменения условий освещения, ввиду которых даже белая разметочная линия может восприниматься иначе. В свою очередь, цветовое пространство HSL использует компоненту L (lightness) для выделения светлоты каждого пикселя. Этот компонент крайне чувствителен к различным условиям освещения на изображении. В свою очередь, каналы H и S практически не изменяются с изменением освещённости. Конвертация изображения в цветовое пространство HSL и рассмотрение его H и S каналов может поспособствовать более эффективному поиску линий на изображении. На рисунке видно, что S-канал хорошо распознаёт дорожные линии даже в тех местах изображения, где присутствует тень.

В конечном счёте, наиболее эффективным подходом является объедине-

ние информации, получаемой с помощью градиента изображения, и информации, получаемой при работе с цветовыми пространствами.

1.3 Перспективное преобразование

Линейная или точечно-проекционная перспектива – феномен, означающий, что объекты кажутся меньше по мере увеличения расстояния между ними и наблюдателем, и то, что они подвержены сокращению в перспективе, что означает, что размеры объекта вдоль линии взгляда кажутся меньше, чем его размеры поперек линии взгляда. Все объекты будут смещаться к точкам на расстоянии, обычно вдоль линии горизонта.

Художники используют линейную перспективу, чтобы создать у зрителя правильное ощущение размера, глубины и положения объекта на картине. Камеры также видят мир в линейной перспективе, что может стать препятствием, когда дело касается беспилотных автомобилей. Чем дальше от камеры находится объект в реальном мире, тем меньше его размер на фотографии. Более формально, чем больше значение координаты z объекта в реальном трёхмерном мире, тем меньше его размер на двумерном изображении.

Для решения задачи по измерению кривизны дорожной линии гораздо полезнее взглянуть на дорогу с высоты птичьего полёта, нежели с точки зрения водителя. На изображении, полученном с точки зрения водителя (в линейной перспективе), трудно определить истинное направление дорожных линий. Чтобы получить изображение, при котором бы создавалось ощущение, что камера направлена на дорогу сверху вниз, можно применить преобразование перспективы.

Процесс применения перспективного преобразования схож с процессом коррекции искажения камеры, хотя отличия всё же присутствуют. При выполнении коррекции искажения требовалось установить соответствие между точками реального трёхмерного объекта и точками искажённого изображения. В случае с перспективным преобразованием, какой-либо трёхмерный реальный объект отсутствует. При преобразовании перспективы необходимо установить соответствие между точками текущего изображения и точками нового изображения с изменённой перспективой, которое должно быть получено в результате преобразования.

После применения соответствующего преобразования перспективы, будет получен взгляд на дорогу сверху, что позволит увидеть параллельные дорожные

линии, поворачивающие в одну и ту же сторону. Преобразование перспективы позволяет изменять изображение таким образом, чтобы наблюдать сцену с различных ракурсов и под разными углами (например, сбоку или снизу от камеры).

1.4 Полиномиальная аппроксимация

Для окончательного определения местоположения дорожных линий на изображении, необходимо построить гистограмму, основываясь на нижней половине изображения, потому что именно с нижней половины изображения будет осуществляться поиск дорожной линии. Пики гистограммы укажут, где именно на изображении находятся дорожные линии. Так как дорожных линий всего две, то необходимо найти два наибольших пика – это будут позиции двух линий на изображении. Для того, чтобы выделить каждую разметочную линию целиком, следует использовать технику скользящего окна – прямоугольник фиксированной длины и высоты, который накладываем на изображение так, что пик гистограммы находится в его центре. Далее, этот прямоугольник смещается вверх и выравнивается по горизонтали таким образом, чтобы наибольшее скопление пикселей в рамках этого прямоугольника приходилось на середину прямоугольника (центрирование происходит только в том случае, если в прямоугольнике попадает количество пикселей, большее, чем заданный минимальный порог). Прямоугольник смещается всё выше, до тех пор, пока не достигнет конца изображения.

Изображение делится на две части относительно своего центра. Пиксели в левой части изображения, попавшие внутрь скользящего окна, относятся к левой разметочной линии. Пиксели в правой части изображения – к правой.

После нахождения всей пикселей, принадлежащих одной из двух линий, каждая из линий аппроксимируется с помощью кривой второго порядка, общий вид которой можно описать уравнением $f(y) = Ay^2 + By + C$.

Радиус кривой в любой точке x для функции $x = f(y)$ можно рассчитать с помощью формулы:

$$R_{curve} = \frac{[1 + (dx/dy)^2]^{3/2}}{|d^2x/dy^2|}$$

Для имеющегося многочлена второго порядка, первая и вторая производ-

ные будут выглядеть следующим образом:

$$f'(y) = \frac{dx}{dy} = 2Ay + B$$

$$f''(y) = \frac{d^2x}{dy^2} = 2A$$

В результате, уравнение для поиска радиуса кривизны линии будет иметь вид:

$$R_{curve} = \frac{(1+(2Ay+B)^2)^{3/2}}{|2A|}$$

Заключительным шагом является конвертация единиц измерения. Радиус кривизны дорожной линии вычисляется с использованием пикселей, следовательно, это радиус кривизны в пиксельном пространстве, которые не эквивалентны единицам измерения реального мира. Для того, чтобы осуществить описанное преобразование, необходимо знать реальную длину разметочной линии, захватываемой камерой автомобиля. Для набора данных, используемого в текущей работе, эта информация предоставлена – длина линии составляет около 30 метров, а ширина около 3.7 метров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для распознавания полосы движения беспилотного автомобиля в дипломной работе была разработана программа с использованием языка программирования Python, библиотек NumPy, Matplotlib, OpenCV, Pillow, PyQt5, MoviePy и модулей os, datetime и glob. К изображению, поступающему на вход программы с камеры беспилотного автомобиля, применяются несколько этапов: коррекция искажения камеры, применение градиента и изоляция цветовых каналов, перспективное преобразование и аппроксимация дорожных линий с использованием многочлена второго порядка.

Реализованная программа может быть использована для навигации беспилотного автомобиля в совокупности с другими модулями.

Таким образом, поставленные задачи решены в полном объеме и достигнута поставленная цель – была разработана программа для автоматического определения полосы, в рамках которой движется беспилотный автомобиль.