

Санкт-Петербургский Государственный Университет
Математико-механический факультет
Кафедра системного программирования

Восстановление положения объекта известной
формы по зашумлённым наблюдениям с помощью
видеокамеры

Курсовая работа студента 345 группы
Серебрякова Сергея Николаевича

Научный руководитель

к.ф.-м.н. А.Т. Вахитов

Санкт-Петербург
2011

Содержание

Введение	3
1 Гомография	5
2 Обнаружение контуров объектов	7
3 Проецирование контуров	9
Заключение	11

Введение

Задача отслеживания объектов по видеонаблюдениям имеет множество применений: например, в охранных системах или интеллектуальных системах мониторинга дорог (подсчёт дорожного трафика, измерение скорости транспортных средств, классификация транспортных средств).

Многие популярные системы мониторинга дорожного трафика используют для обнаружения транспортных средств цифровые сенсоры. Когда транспортное средство проезжает детектор, он срабатывает, и транспортное средство учитывается. Длительность прохождения через детектор может быть использовано для оценки скорости транспортного средства. Такие системы используют встроенные эвристики, чтобы различать транспортные средства. Эти системы могут работать неточно, например, если камера видеонаблюдения смонтирована слишком низко. В таком случае изображение транспортного средства может попасть на соседние полосы движения, что вызовет двойное срабатывание детектора.

Более многообещающий подход к мониторингу трафика – отслеживать транспортные средства на протяжении некоторого времени. С помощью такого подхода могут быть найдены траектории движения транспортных средств, что необходимо для таких приложений, как моделирование транспортного потока. Такой подход позволяет вычислить такие важные характеристики, как размеры транспортного средства и его средняя скорость. Более того, при достаточно длинной зоне наблюдения можно вычислить ускорение транспортных средств, а также обнаруживать манёвры типа смены транспортным средством ряда движения.

Полезным результатом обработки наблюдений является определение координат объектов и создание двумерной «карты» зоны наблюдения («вид сверху»), на которой будут нанесены изображения объектов в соответствующей системе координат плоскости. Если объекты являются движущимися, на карте могут быть отображены их перемещения. Такую карту можно использовать для оценки характеристик объектов, которые сложно или невозможно получить со сравнимой точностью по исходной видеозаписи (длина и ширина объекта, его скорость и т.д.).

В нашей работе представлены эксперименты по обнаружению, отслеживанию и последующему восстановлению положения объектов известной формы по наблюдениям с помощью видеокамеры, на которых могут присутствовать помехи (дефекты видеозаписи). Эксперименты проводились на примере видеозаписи с неподвижной камеры

уличного видеонаблюдения, установленной на перекрёстке. В качестве наблюдаемых объектов выступили транспортные средства, движущиеся в зоне наблюдения видеокамеры. Прежде всего требовалось построить двумерную карту, соответствующую изображению наблюдаемой зоны, как если бы на неё смотрели сверху. Затем требовалось обнаружить транспортные средства, передвигающиеся в зоне наблюдения, и отобразить их на карту. Предполагалось, что наблюдаемые транспортные средства имеют прямоугольную форму, что означает, что в результате отображения на карту должны получиться прямоугольники. Результатом обработки явилось видео, синхронизированное с исходной видеозаписью с камеры и содержащее изображение наблюдаемой зоны сверху с нанесёнными на него изображениями движущихся транспортных средств.

1 Гомография

Для построения требуемого видео требовалось прежде всего преобразовать координаты изображения-видеокадра в плоскую систему координат и построить «фон» карты, на который потом можно было бы наносить изображения объектов. В качестве допущения видеокамера подразумевалась оптической системой, формирующей изображение без аберраций (дисторсии и тому подобных искажений).

Для перевода системы координат исходного видеоизображения в систему координат двумерной карты применялось преобразование гомографии. Гомография – это обратимое преобразование плоскости, отображающее прямые линии в прямые линии. Имеющееся изображение A , снятое видеокамерой с некоторого ракурса, можно получить с помощью гомографии, применённой к изображению B (искомому), снятому с некоторой высоты видеокамерой, направленной вертикально вниз. Так как гомография — преобразование обратимое, то искомое изображение B можно получить, вычислив применённую гомографию, обратив её и применив обратное преобразование к имеющемуся изображению A .

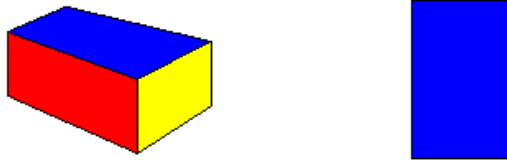


Рис. 1: Объект в форме прямоугольного параллелепипеда, снятый с некоторого ракурса и сверху вниз

Каждая точка изображения (как имеющегося, так и искомого) имеет однородные координаты $(x, y, s)^T$, где x — координата по горизонтали, y — координата по вертикали, s — ненулевой масштабный множитель, характеризующий удалённость точки от наблюдателя. Использование таких координат позволит составлять линейные уравнения, описывающие преобразования плоскости.

Рассмотрим одно такое уравнение: $a_i = Hb_i$. Поскольку мы используем однородные координаты, то вектора a_i и Hb_i совпадают по направлению, но могут быть не равны по длине из-за масштабного множителя. Тогда такое уравнение может быть записано через векторное произведение: $a_i \times Hb_i = 0$.

Обратное преобразование задаётся матрицей, обратной к матрице гомографии: H^{-1} . Таким образом, точка a имеющегося изображения A соответствует точке $b = H^{-1}a$



Рис. 2: Исходный кадр видеозаписи, использованный для построения фона карты

изображения B .

В качестве требуемых четырёх точек могут быть использованы, например, углы какого-либо прямоугольного объекта, форма и расположение которого на изображении B хорошо известны. В нашем случае в качестве такого объекта выступила дорожная разметка, обозначающая пешеходный переход (зебра).

Полученная матрица гомографии была обращена и соответствующее преобразование было применено к кадру видеозаписи с помощью функции `warpPerspective` библиотеки OpenCV.

Заметим, что гомографию достаточно задать лишь однажды. В дальнейшем можно пользоваться уже вычисленной гомографией, если ракурс, с которого видеокамера снимает изображение, не меняется. В противном случае изображение, снятое видеокамерой, будет получено преобразованием, отличным от вычисленного, и применение обратного преобразования не даст желаемого результата. Впрочем, поиск точек для задания гомографии может быть осуществлён автоматически; в этом случае при изменении ракурса съёмки система сможет перенастраиваться.

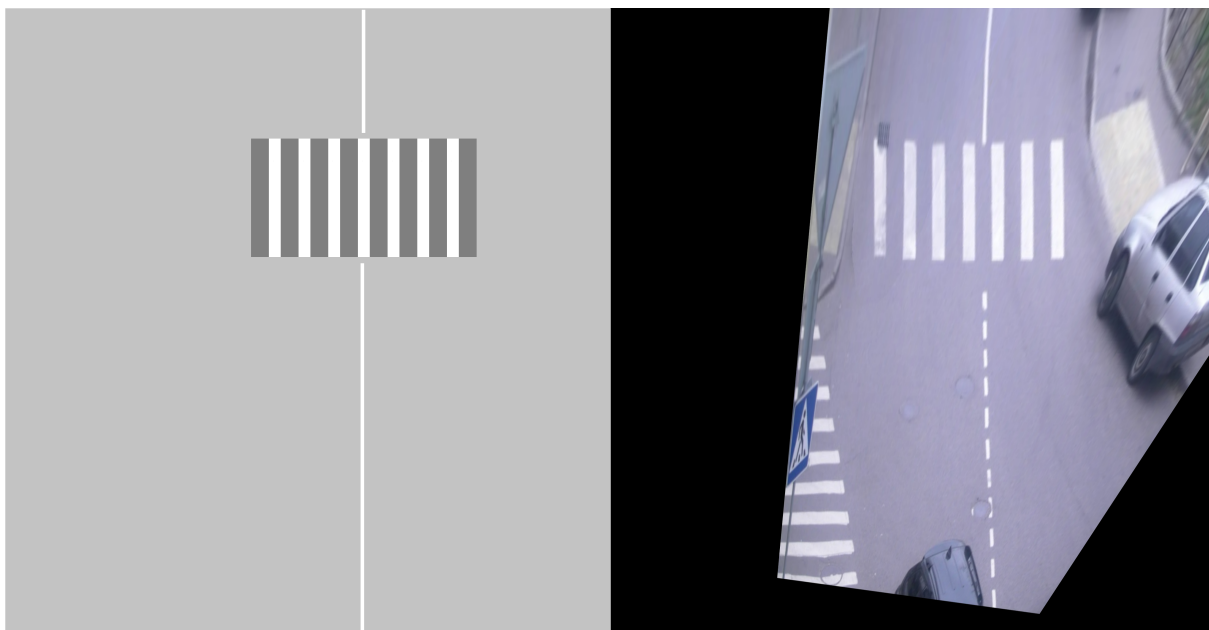


Рис. 3: Изображение зебры и полученный фон карты

2 Обнаружение контуров объектов

Для того, чтобы обнаружить движущиеся объекты, необходимо отличить их от неподвижного фона. Для этого применяется техника, называемая вычитанием фона (background subtraction). Этот процесс включает в себя инициализацию и адаптацию модели фона изображения. Во время обработки видеопотока приблизительно оценённый фон сравнивается с текущим изображением, и известные части фона вычитаются из кадра, в результате чего остаются только те участки изображения, которые относятся к движущимся объектам.

Модель фона может быть инициализирована, например, первым кадром имеющейся видеозаписи или специальным снимком камеры, сделанным в момент, когда в наблюдаемой зоне отсутствует движение. Из-за того, что в наблюдаемой зоне может, к примеру, постепенно меняться уровень освещённости, необходима адаптация модели фона. В нашей реализации используется метод `accumulateWeighted` библиотеки OpenCV.

На следующем этапе после выделения движущегося объекта и определения краёв получается бинарное изображение, на котором отображены сглаженные границы объектов.

На изображении с найденными границами была применена функция `findContours` библиотеки OpenCV. Эта функция по бинарному изображению определяет контуры находящихся на нём объектов. Результатом работы этой функции являются списки, в

каждом из которых перечислены точки контура одного из объектов.



Рис. 4: Кадр видеоизображения и он же с удалённым фоном

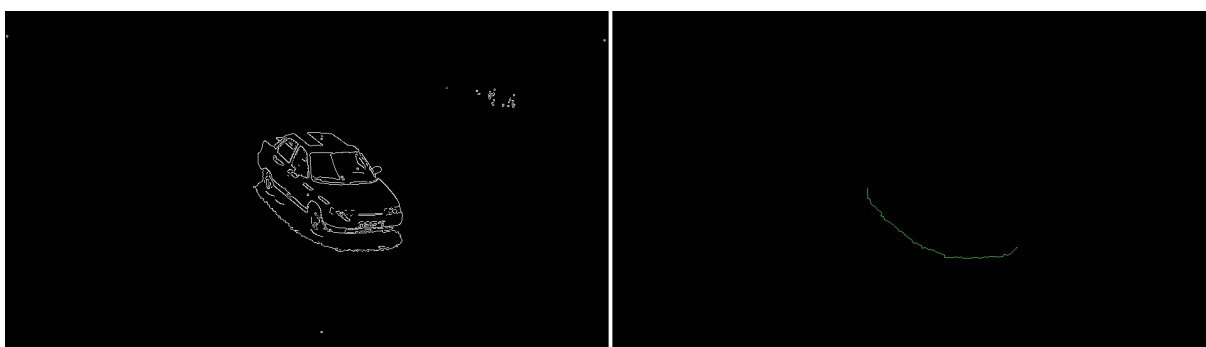


Рис. 5: Видеокадр после обработки фильтром Саппу и нижняя часть обнаруженного на нём контура объекта

3 Проецирование контуров

Предполагается, что наблюдаемые объекты, в нашем случае транспортные средства, имеют известную форму, в нашем случае прямоугольную, что означает, что в результате отображения на карту должны получиться прямоугольники. Транспортные средства мы наблюдаем с некоторого ракурса, поэтому наблюдаемые контуры не будут прямоугольными. Тем не менее, можно определить два противоположных угла транспортного средства, взяв самую левую и самую правую точки контура (обозначим их a_l и a_r соответственно). Теперь достаточно найти третий угол a_m транспортного средства, чтобы полностью восстановить прямоугольник.

Необходимым условием на точку a_m является то, что прямая, проведённая через проекции точек a_l и a_m на карту, и прямая, проведённая через проекции точек a_r и a_m , должны образовывать прямой угол, но точек, удовлетворяющих такому условию, бесконечно много. Искомую точку можно найти с помощью точек, принадлежащих нижней части контура. Будем перебирать с некоторым шагом точки, удовлетворяющие необходимому условию, и выберем из них ту, которая доставляет минимум следующей функции:

$$\sum_i (f(x_{a_i}) - y_{a_i})^2$$

где a_i — точки нижней части контура, функция f — кусочно-линейная функция, график которой представляет собой два отрезка $[a_l, a_m]$ и $[a_m, a_r]$. Таким образом, мы найдём два отрезка, наилучшим образом приближающие нижнюю часть контура и обладающие таким свойством, что если их отобразить на карту с помощью гомографии, то их проекции образуют прямой угол. Теперь по правилу параллелограмма можно единственным образом определить четвёртую точку прямоугольника и нанести его на карту.

Если вышеописанным образом получать прямоугольники для каждого кадра видеозаписи в отдельности, то из-за шумовых помех и определённой приближённости вычислений передвижение прямоугольной проекции на результирующем видео будет не слишком плавным. Чтобы избежать этого, был использован фильтр Калмана. Это фильтр, оценивающий состояние динамической системы, используя ряд зашумлённых измерений. Для расчёта текущего состояния системы фильтр использует текущее измерение, а также учитывает предыдущее состояние системы. В нашем случае в роли как вектора измерений, так и вектора состояния системы выступил 8-мерный вектор $(x_{a_l}, y_{a_l}, x_{a_r}, y_{a_r}, x_{a_m}, y_{a_m}, v_x, v_y)^T$, где a_l — левая точка контура, a_r — правая точка контура, a_m — третий угол объекта, v — скорость движения объекта. Матрица эволюции

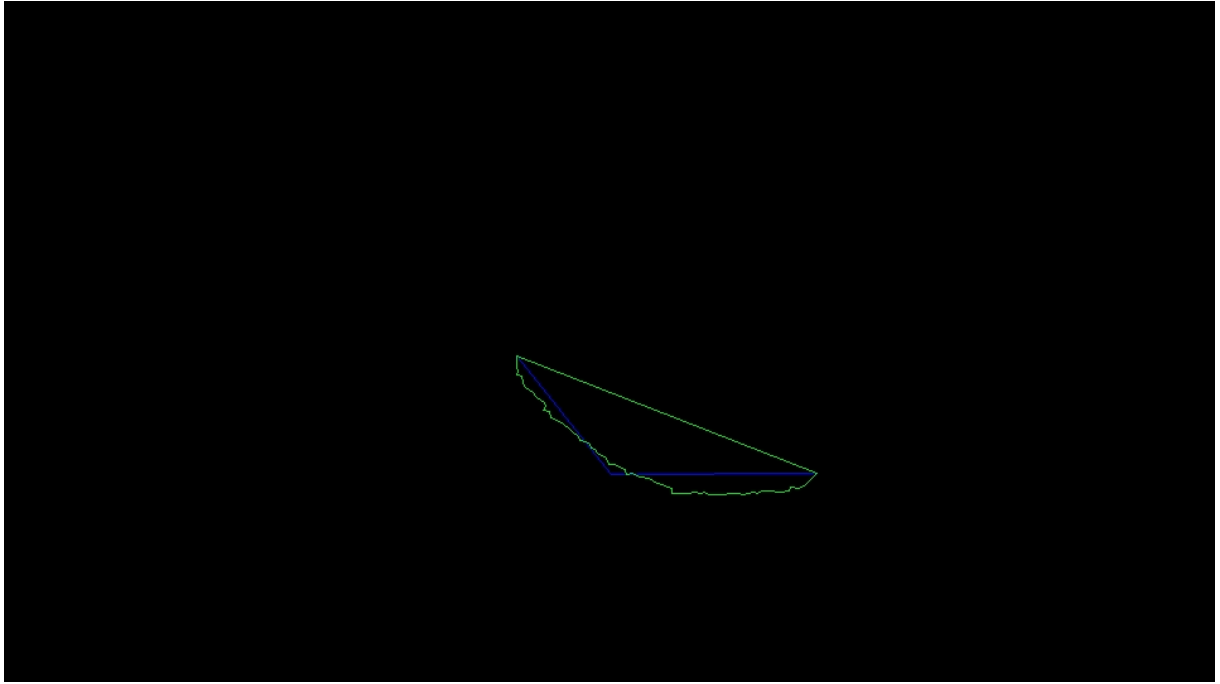


Рис. 6: Приближение отрезками нижней части контура

системы, которая воздействует на вектор состояния, в таком случае равна

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Таким образом, после обработки каждого кадра мы получаем набор фильтров, каждый из которых соответствует отдельному движущемуся объекту. У каждого из них можно получить оценённое состояние системы, основанное на переданных измерениях. В полученном состоянии записаны координаты трёх точек контура объекта в системе координат исходного видеоизображения. Применив к ним описанное ранее обратное к гомографии преобразование, можно получить три точки прямоугольника, соответствующего контуру объекта в системе координат двумерной карты. По правилу параллелограмма можно единственным образом определить четвёртую точку этого прямоугольника, после чего нанести его на карту, что решает поставленную задачу.

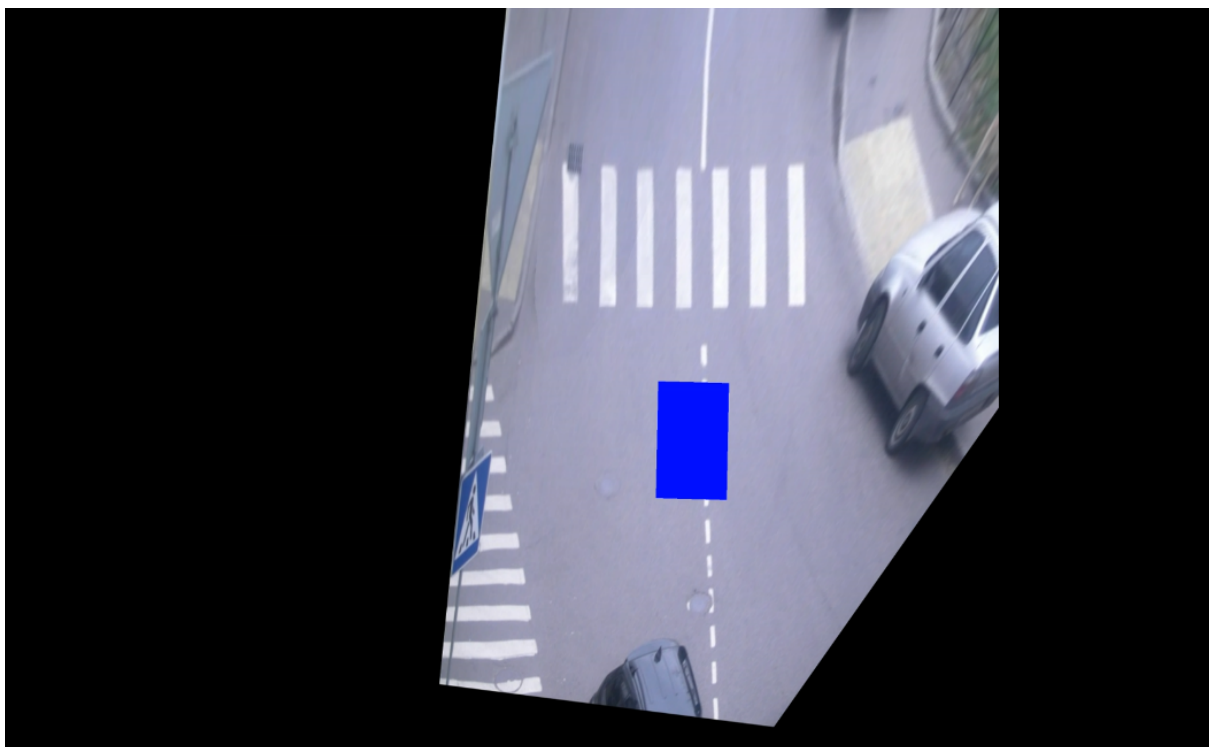


Рис. 7: Результат: прямоугольник, спроецированный на плоскую карту

Заключение

В процессе курсовой работы была разработана и реализована система обнаружения и последующего проецирования на плоскость объектов известной формы для решения задачи восстановления положения этих объектов по зашумлённым видеонаблюдениям.

В ходе работы были рассмотрены различные методы восстановления положения объектов на плоскости. Также был совершен поверхностный сравнительный анализ этих методов. Результаты проведенного анализа использовались для выбора реализованного алгоритма.

Дальнейшее поле деятельности — выбор оптимальных критериев обнаружения движущихся объектов, зависящих непосредственно от рассматриваемой задачи. Также можно применять алгоритмы удаления теней для получения более чёткой формы объекта и другие методы обработки изображения для удобства дальнейшего проецирования. Кроме того, для улучшения результатов необходимо развитие самого алгоритма обнаружения объектов посредством дальнейшей обработки полученных областей на уровне рассмотрения их границ и отслеживания перемещений этих границ в видеопотоке.

Список литературы

- [1] R. Hartley, A. Zisserman. Multiple View Geometry in Computer Vision, 2ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [2] N. Kanhere, S. Birchfield, W. Sarasua, T. Whitney. Real-Time Detection and Tracking of Vehicle Base Fronts for Measuring Traffic Counts and Speeds on Highways // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1993, pp. 155-164, 2007.