

Рандомизированное обобщенное преобразование Хафа в задаче идентификации объектов на изображениях местности¹

*С. С. Сысоев, к. ф.-м. н., Ю. Г. Велюхов,
Санкт-Петербургский государственный университет
sysoev@petroms.ru*

В статье рассмотрена рандомизированная модификация обобщенного преобразования Хафа, позволяющая сократить время идентификации объектов на изображениях. Предложенный алгоритм протестирован на испытательном стенде, включающем в себя программно-управляемый квадрокоптер с цифровой камерой, модель танка и прямоугольные предметы, напоминающие по контурам танк.

Ключевые слова: преобразование Хафа, рандомизация, идентификация, распознавание, контур, прицеливание.

1. Введение

Задача автоматизированного поиска объектов известного вида на изображении имеет множество практических применений. Автоматизация поиска требуется всегда, когда по каким-либо причинам приходится исключить из процесса участие человека, например, из-за большого объема информации или высоких требований к скорости принятия решений [1]. Возможны ситуации, когда участие человека в процессе не только неэффективно, но и невозможно, как в случае анализа местности беспилотным летательным аппаратом [2].

Решение задачи поиска обычно связано с процедурой сравнения исследуемого изображения (или его участков) с некоторым образцом. При этом различные алгоритмы по разному подходят к задаче подготовки объектов сравнения и оценке качества найденных соответствий.

Процедура сравнения участков изображения с образцом в реальных условиях может осложниться различными видами помех при получении изображения. Известные помехи, связанные, например, с искажениями оптики, могут быть учтены в алгоритме подготовки изображения. Некоторые виды помех трудно оценить и учесть при проектировании алгоритма. К ним относятся различные

¹©С. С. Сысоев, Ю. Г. Велюхов, 2013

атмосферные явления, мероприятия, предпринятые противником для маскировки целей, дефекты камеры, полученные в процессе полета и др.

Возможности рандомизации в формирования плана наблюдений рассматриваются в [3] для снижения влияния неизвестных почти произвольных помех в линейной стационарной постановке и в более общей — в [4], в [5] рассматриваются преимущества рандомизации плана наблюдений в линейной нестационарной задаче. В докладе рассмотрена рандомизированная модификация обобщенного преобразования Хафа [6], позволяющая существенно уменьшить время работы алгоритма без значительных изменений в его точности. Рандомизация применяется при выборе точек контура искомого объекта, участвующих в оценке соответствия ему контуров, обнаруженных в изображении.

2. Постановка задачи

Входными данными в рассматриваемой задаче идентификации являются:

1. Изображение местности, полученное с цифровой камеры, расположенной на летящем (либо падающем) объекте. Камера ориентирована вертикально вниз, искажения оптики не учитываются. Разрешение картинки, получаемой с камеры — 640 на 480 пикселей. Угол обзора — 60^0 .
2. Шаблон — цифровое черно-белое (8 бит на пиксель) изображение цели (или ее макета) сверху, на ровной плоскости, не содержащей других, конкурирующих объектов.
3. Центр цели — особая точка на изображении искомого объекта, выбираемая оператором при подготовке шаблона.

Требуется определить точку на входном изображении, с наибольшей вероятностью являющуюся центром цели. Требования к алгоритму идентификации:

1. Идентификация цели на изображении в широком спектре масштабов (от 0.1 до 1 размера входного шаблона).
2. Идентификация цели на изображении при любом ее повороте относительно шаблона.

3. Устойчивость к помехам — неполному, либо нечеткому изображению цели на входном изображении.

Критически важным требованием к алгоритму является скорость его работы.

3. Описание алгоритма

При выборе подхода к идентификации цели мы руководствовались соображениями, приведенными ниже:

Идентификация по набору признаков (особых точек шаблона) не подходит для решения поставленной задачи по следующим причинам:

1. Низкое разрешение входного изображения не позволяет надеяться на выявление достаточного количества признаков цели в большей части диапазона масштабов.
2. Процедура идентификации объекта по набору признаков неустойчива к помехам.

Последовательное сопоставление шаблона цели с фрагментами изображения имеет высокую вычислительную сложность (время работы пропорционально произведению разрешений входного изображения и шаблона для каждого угла поворота и масштаба цели). Необходимость учитывать возможные смещения яркости и контрастности входного изображения приводят к дополнительным вычислительным затратам при его обработке.

На основе вышеперечисленного мы выбрали подход к идентификации объекта на основе совпадения его контура с некоторым набором контуров во входном изображении. Сложность процедуры идентификации по контуру пропорциональна произведению количества точек контура в шаблоне и количества точек выявленных контуров во входном изображении. Поскольку контуры объектов занимают обычно незначительную часть всего изображения, такой подход позволяет существенно выигрывать в производительности у алгоритмов, ориентированных на поточечное сравнение. Кроме того, потеря части контура цели в результате помех входного изображения, довольно несущественно сказывается на результатах идентификации по сравнению с потерей признака в процедуре идентификации объекта по признакам.

Для сравнения контуров мы используем двумерное обобщенное преобразование Хафа.

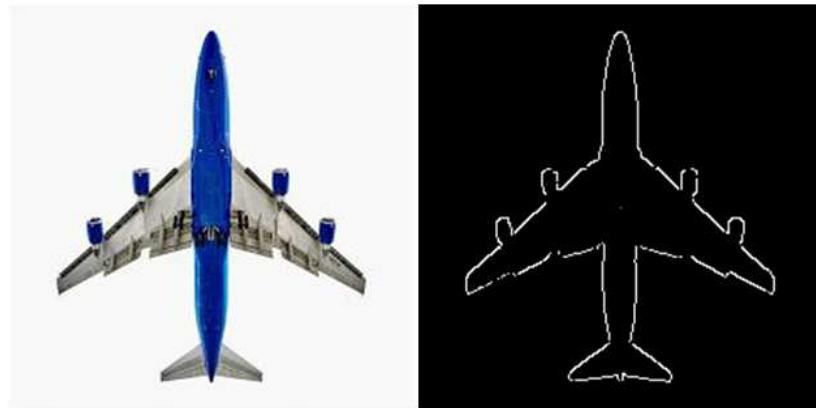


Рис. 1: Подготовка шаблона цели. Контура представлены пикселями белого цвета, фон — черного. Центр цели обозначен серой точкой RGB(127,127,127).

Шаблон в графическом редакторе преобразуется в белый контур на черном фоне. Центр цели помечается серой точкой (рис. 1). Для каждой точки контура вычисляется ее угол в пространстве Хафа (угол наклона контура относительно оси абсцисс), а также ее полярные координаты относительно центра цели. Далее точки контура кластеризуются по углу в пространстве Хафа. Размер кластера является входным параметром алгоритма и влияет на точность и скорость идентификации (меньше кластер — выше точность, ниже скорость). Обработка входного изображения выполняется в несколько этапов:

1. Выделение памяти под массив кандидатов (того же размера, что и входное изображение).
2. Выделение контуров (фильтр Канни) — рис. 2.
3. Для каждой точки контура определяется угол наклона контура (вторая координата в пространстве Хафа). Для найденного угла выбирается подходящий для него кластер точек шаблона (рис. 3, 4).

4. Для каждой точки из выбранного кластера мы выдвигаем гипотезу, что именно ее мы нашли на изображении. В соответствие с этой гипотезой мы находим предполагаемое положение центра цели на изображении (из полярных координат точки относительно центра). В массиве кандидатов в ячейке, соответствующей найденному центру цели, добавляем 1 (рис. 5).
5. Находим позицию максимального значения в массиве кандидатов — она будет соответствовать вероятному расположению центра цели на изображении.

Для выполнения требований идентификации объекта при разных масштабах и углах поворота, описанная процедура выполняется для группы отмасштабированных и повернутых на различные углы шаблонов.

Как уже было сказано выше, идентификация объекта по контуру устойчива к помехам (пробелам в контуре). При этом уменьшение количества точек контура положительно сказывается на производительности алгоритма. В этой работе исследованы результаты намеренного стирания случайных точек контура с целью повышения скорости работы процедуры идентификации цели. Алгоритм Хафа модифицирован следующим образом:

1. Выбирается порог — натуральное число T .
2. При выборе каждой следующей точки контура из входного изображения генерируется случайное целое число a .
3. Если $T|a$, для точки контура выполняются все стандартные действия алгоритма, в противном случае точка пропускается.

В следующем разделе представлены результаты работы алгоритма при различных значениях порога.

4. Апробация алгоритма

Для демонстрации работы предложенного алгоритма создан тестовый стенд, включающий в себя компьютер с запущенным на нем алгоритмом (AMD Athlon II X2 2.8GHz, RAM 2Gb), управляемый им квадрокоптер Ar.Drone 2.0, и игрушечный танк с дистанционным управлением. Стенд позволяет продемонстрировать процесс

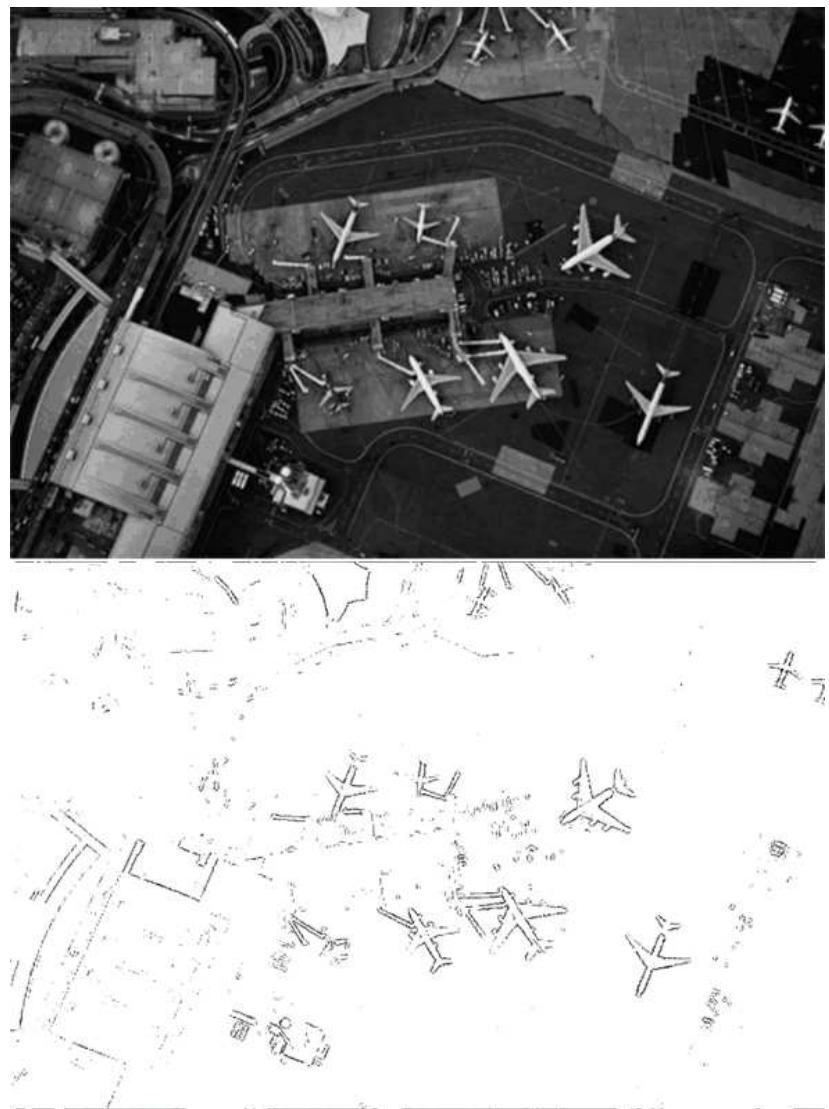


Рис. 2: Входное изображение и изображение с выделенными контурами.



Рис. 3: Точка контура и его угол в пространстве Хафа.

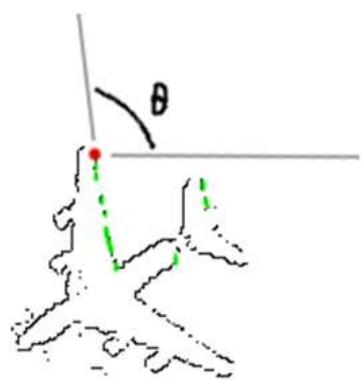


Рис. 4: Зеленым цветом отмечены все точки шаблона, входящие в кластер, соответствующий углу θ .

автоматического поиска мишени (танка) летательным аппаратом и отслеживание перемещений мишени в реальном времени.

На рис. 6 представлены результаты работы алгоритма при значениях порога от 1 до 10 в случае почти полного отсутствия конкурирующих контуров на входном изображении (рис. 7).

Рис. 8 демонстрирует аналогичные данные для ситуации, когда

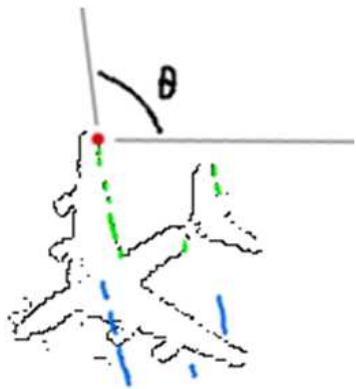


Рис. 5: Синим цветом отмечены кандидаты в центры цели.

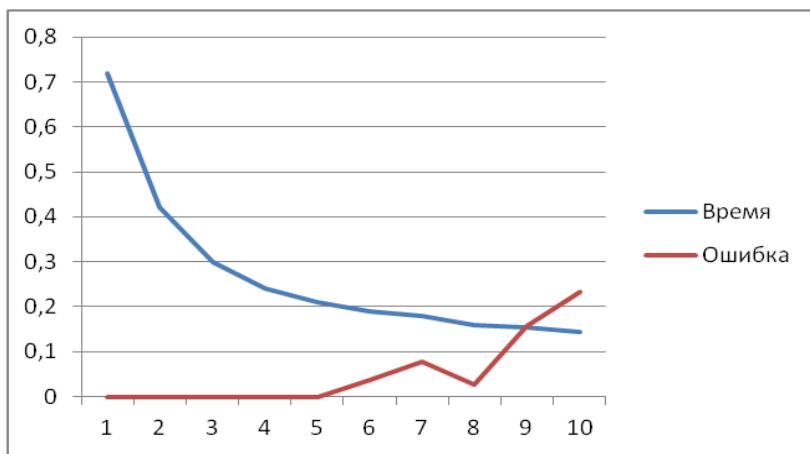


Рис. 6: Время работы алгоритма и доля ошибок идентификации при различных значениях порога при отсутствии конкурирующих контуров.

в поле зрения камеры попадают другие объекты, имеющие прямые линии в своем контуре (как на рис. 9 и 10).

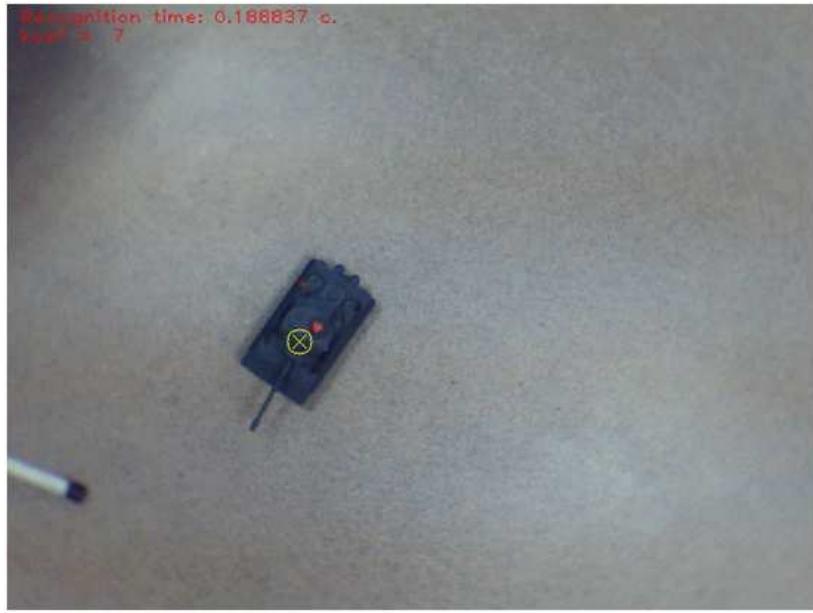


Рис. 7: Входное изображение с камеры, практически полное отсутствие конкурирующих контуров. Порог равен 7, центр цели определен верно.

5. Заключение

Результаты моделирования показывают очень незначительный рост количества ошибок идентификации при стохастическом прореживании точек контура цели вплоть до обработки в среднем одной из десяти точек (и десятикратном ускорении алгоритма). При этом существенные осложнения для правильной идентификации могут создавать объекты с контурами, лишь в малой части точек отличающимися от контура цели. Параллельное применение нескольких принципиально различных алгоритмов идентификации к выявленным кандидатам в центры цели представляется нам перспективным направлением исследований для решения этой проблемы.

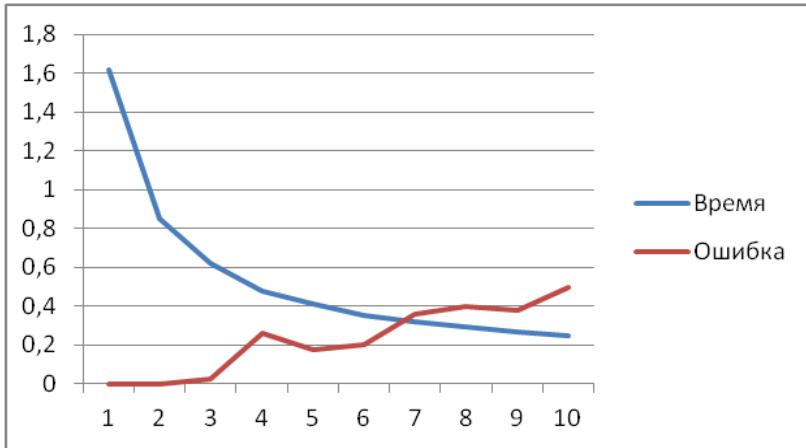


Рис. 8: Время работы алгоритма и доля ошибок идентификации при различных значениях порога при наличии конкурирующих контуров.

Список литературы

- [1] Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. — Springer, 2010.
- [2] Абдрашитов Р.Г., Мартынов А.В. Посадка беспилотного летательного аппарата на неподготовленную ВПП // Вестник ГГТУ имени П.О.Сухого. № 2. 2002. С. 55–58.
- [3] Гранчин О.Н. Оценивание параметров линейной регрессии при произвольных помехах // Автоматика и телемеханика, 2002. №1. С. 30–41.
- [4] Вахитов А.Т., Гранчин О.Н., Сысоев С.С. Точность оценивания рандомизированного алгоритма стохастической оптимизации // Автоматика и телемеханика. 2006. №4. С. 86–96.
- [5] Гранчин О.Н. Неминимаксная фильтрация при неизвестных ограниченных помехах в наблюдениях // Автоматика и телемеханика. 2002. №9. С. 125–133.



Рис. 9: Входное изображение с камеры, присутствуют конкурирующие контуры. Порог равен 7, центр цели определен верно.

- [6] *Richard O. Duda, Peter E. Hart* Use of the Hough Transform to Detect Lines and Curves in Pictures. Technical note, Artificial Intelligence Center, 1971.



Рис. 10: Входное изображение с камеры, присутствуют конкурирующие контуры. Порог равен 7, центр цели определен ошибочно — выбран конкурирующий объект.