

РАСПОЗНАВАНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА SURF

М.Б. Пименова

pimenovamb@student.bmstu.ru
SPIN-код: 6575-7056

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен один из самых устойчивых к проективным искажениям методов — Speeded Up Robust Features (SURF), заключающийся в поиске особых точек изображения. Благодаря своей инвариантности к условиям съемки и проективным преобразованиям, алгоритм метода SURF может применяться для поиска объектов в реальном масштабе времени, решения навигационной задачи и определения текущего фрагмента подстилающей поверхности с целью получения координат летательного аппарата. Описан процесс распознавания заданного фрагмента на съемке в режиме реального времени. Рассмотрены различные алгоритмы предварительной обработки изображений, позволяющие повысить эффективность распознавания образов. Проведено исследование возможностей распознавания в условиях различной освещенности, при деформации масштабированием и поворотом, при изменении уровня яркости и размытости кадра, а также точки обзора.

Ключевые слова

Метод SURF, обработка изображений, распознавание изображений, ключевые точки, дескрипторы особых точек, калибровка камеры, машинное зрение

Поступила в редакцию 09.09.2019
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Введение. Задача поиска соответствия между двумя изображениями, обнаружения и выделения заданного объекта на сцене или в видеопотоке становится все более актуальной. С этой областью исследования тесно связаны задачи слежения за объектом, наложения изображений и соединения кадров, поиска изображений в базе данных.

Существует множество прикладных задач, для которых целесообразно применять методы поиска локальных особенностей. К таким задачам относятся задачи распознавания дорожных знаков на изображениях или видеопоследовательности [1], идентификации и отслеживания транспортных средств или людей при видеонаблюдении [2], создании панорамных снимков [3] и классификации изображений [4] и др.

Широкий спектр практического применения данных задач обуславливает важность их решения. В случае изменения масштаба, ракурса съемки, освещения, четкости или наличия перекрытия фрагмента объекта распознавания не представляется возможным выполнить прямое (попиксельное) сопоставление.

В таких ситуациях используются локальные особенности, т. е. опорные точки. Опорной (особой, ключевой) точкой называют точку с характерной окрестностью, которая имеет некие признаки, существенно отличающие ее от основной массы точек. Данный подход подразумевает поиск и анализ только пикселей, приносящих наибольший вклад в общую характеристику изображения. Методы SURF и SIFT, рассмотренные в данной работе, сочетают в себе и поиск опорных точек, и формирование дескриптора — вектора признаков, построенного по окрестности точки, с целью последующего сопоставления дескрипторов особенностей.

Методы, основанные на выделении особых точек для распознавания тестового изображения. Алгоритм работы методов поиска особых точек включает два этапа: 1) обнаружение особых точек; 2) сопоставление особых точек. Для обеспечения надежного распознавания важно, чтобы особые точки, извлеченные из тестового изображения, можно было затем обнаружить даже при изменении масштаба изображения, незначительного изменения ракурса съемки, зашумленности и освещенности. Такие точки обычно лежат на высококонтрастных областях изображения. Важно также учесть, чтобы относительное расстояние между выделенными на изображении точками не менялось при переходе с одного кадра на другой.

Методы SIFT (Scale-Invariant feature transform — масштабно-инвариантная трансформация признаков) и SURF (Speeded-Up Robust Features — ускоренные устойчивые признаки) содержат детекторы для определения интересующих нас характерных точек на изображении и отбрасывании низкоконтрастных ключевых точек. Выходной величиной в обоих случаях является представление соседней с характерной точкой области в виде вектора дескрипторов.

Дескриптор особенности — вектор числовых характеристик окрестности особенности $D(x) = [f_1(w(x)) \dots f_n(w(x))]$, где $w(x)$ — некоторая окрестность точки x , а $f(w_1, w_2)$ — мера, используемая для сравнения окрестностей особых точек [5].

Этот дескриптор должен быть инвариантен к шуму, смещению объекта распознавания, геометрическим и фотометрическим деформациям. В дальнейшем дескрипторы могут сравниваться с дескрипторами, выделенными из другого кадра. Сопоставление осуществляется на основе вычисления расстояния между векторами. Размерность дескриптора значительно влияет на время работы алгоритма. Тем не менее, несмотря на то что низкоразмерные дескрипторы быстрее выполняют сопоставление характерных точек, точность распознавания заметно снижается [6].

Метод SURF предоставляет очевидные преимущества по распознаванию изображений, инвариантных к поворотам, масштабированию и частично инвариантных к аффинным преобразованиям и освещенности [7]. Несмотря на то что такие же характеристики имеет и алгоритм SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), метод SURF позволяет намного быстрее распознавать и выделять характерные черты, а также является более робастным. Достоинством данных методов является возможность распознавания объектов в режиме

реального времени и отсутствие необходимости проводить предварительное обучение, как если бы использовались нейросети. Ниже будут более подробно рассмотрены алгоритмы обоих упомянутых методов.

Алгоритм метода SIFT (Scale-Invariant Feature Transform). Метод SIFT преобразует исходное изображение в набор векторов уникальных локальных признаков объекта, каждый из которых инвариантен к сдвигу, масштабированию и вращению, а также частично инвариантен к изменению освещения и аффинным и 3D-преобразованиям [8].

Метод SIFT включает следующие этапы:

- определение локальных особенностей (ключевых точек);
- локализация особенностей;
- вычисление ориентаций особенностей;
- описание локальных особенностей через дескриптор;
- сопоставление дескрипторов.

Алгоритм метода SURF (Speeded Up Robust Features). Метод SURF ищет ключевые точки и строит описание найденных ключевых точек через дескрипторы особенностей и является аналогом метода SIFT. Ключевой точкой является локальный экстремум детерминанта матрицы Гессе. Для двумерного случая детерминант матрицы Гессе определяется следующим образом:

$$\det(H) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2,$$

где $H(f(x, y)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix}$ — матрица Гессе; $f(x, y)$ — функция изменения градиента яркости [5].

Гессиан инвариантен к сдвигу яркости изображения и повороту, но не инвариантен к масштабу. Данную проблему решают с помощью последовательного перебора различных масштабов и фильтров и поочередного применения их к одному пикселю. В качестве опорных точек выбирают локальные максимумы гессианов, соответствующие локальным максимумам изменения градиента яркости. После нахождения точек локальных максимумов определяют точка истинного максимума гессиана [9]. Данная методика гарантирует, что в окрестности ключевой точки расположены участки с разными градиентами. Дескриптор представляет собой массив чисел, определяющих опорную точку. Инвариантность дескриптора относительно поворота обеспечивается дисперсией (различием) дескрипторов для разных особых точек.

Для определения особых точек в методе SURF используется целочисленная аппроксимация детерминанта blob-детектора гессиана, который вычисляется с помощью трех операций с использованием предварительно вычисленного

интегрального изображения [10]. Blob-детектирование — выявление областей в цифровом изображении, которые отличаются по своим свойствам, таким как яркость или цвет, от прилегающих областей.

К недостаткам метода можно отнести то, что SURF используется для поиска объектов на изображении, но не работает непосредственно с самими объектами. Кроме того, область применения данного метода ограничена в связи с тем, что он в большинстве случаев не может быть использован для распознавания объектов простой формы и без ярко выраженной текстуры.

Сравнивая дескрипторы, полученные с разных изображений, можно определить совпадающие пары, и на основе этой информации сделать выводы об обнаружении искомого фрагмента на снимке.

Все обнаруженные ключевые точки можно подразделить на два типа:

- а) точки, удовлетворяющие модели, «не-выбросы» (англ. *inlier*);
- б) ложные точки, шумы — случайные включения в исходные данные, «выбросы» (англ. *outlier*).

Таким образом, алгоритм работы SURF предусматривает выполнение следующих этапов:

- масштабно-пространственное представление;
- расчет значений гессиана;
- поиск точек локальных максимумов;
- определение точки истинного максимума;
- определение ориентации опорной точки;
- формирование дескриптора опорной точки.

SURF-дескрипторы используются для обнаружения и распознавания объектов, людей, жестов или лиц, для восстановления 3D-сцен, отслеживания объектов на видео и извлечения координат точек, представляющих интерес.

Процедуры предварительной обработки изображений. Предварительная обработка данных особенно актуальна в контексте решения задачи распознавания объектов на изображении. Для сокращения размерности изображений, достижения более точного результата и ускорения работы алгоритма, необходимо перевести предварительно сделанный снимок объекта поиска (рис. 1, а) и получаемые с видеосъемки кадры из полноцветных (RGB) в полутоновые.

Для тестирования использовался фрагмент размером 200×200 пикселей с изображением здания (рис. 1, б), который требовалось в режиме реального времени обнаружить на видеосъемке города с квадрокоптера. В процессе распознавания изменялись угол обзора здания, масштаб, яркость, освещенность и уровень размытия.

Для улучшения качества исходных изображений применяют следующие процедуры обработки изображений.

Повышение резкости оригинального изображения (позволяет улучшить визуальное качество изображения).



Рис. 1. Исходное изображение (а) и его фрагмент, выбранный в качестве эталонного (б)

Изменение контраста изображения. Диапазон интенсивностей изображения на гистограмме является достаточно узким, т. е. не покрывает весь диапазон от 0 до 255, что является причиной низкой контрастности изображения. Одним из способов повышения контрастности изображения является эквализация (выравнивание) гистограммы по всем уровням яркости, это обеспечивает равномерное распределение интенсивностей на весь диапазон. Изображение, пиксели которого занимают заданный диапазон уровней серого и имеют тенденцию к равномерному распределению, будет иметь большую контрастность и большее разнообразие оттенков серого [11]. На рис. 2 показаны полученные полутоновое изображение и изображение с измененными резкостью и контрастностью, а также соответствующие им гистограммы.

Устранение размытия. Причиной низкого качества изображений могут быть различные факторы, например, перемещение камеры или объекта в процессе фотосъемки, расфокусировка, длительная выдержка. Восстановление размытых изображений осуществляется с использованием регуляризационных фильтров.

Удаление шума (фильтрация). Ослабление действия помех достигается фильтрацией. При фильтрации яркость (сигнал) каждой точки исходного изображения, искаженное помехой, заменяется некоторым другим значением яркости, которое признается в наименьшей степени искаженным помехой [12]. Многообразие алгоритмов фильтрации определяется различными критериями оптимальности. Для устранения различных видов шума применяют линейную и медианную фильтрацию.

Алгоритм распознавания, реализованный в данной работе. В процессе работы программы последовательно получаемые с камеры кадры направляются в среду MATLAB для последующего применения алгоритмов обработки изображений. Программная реализация алгоритма распознавания представляет собой последовательность этапов.

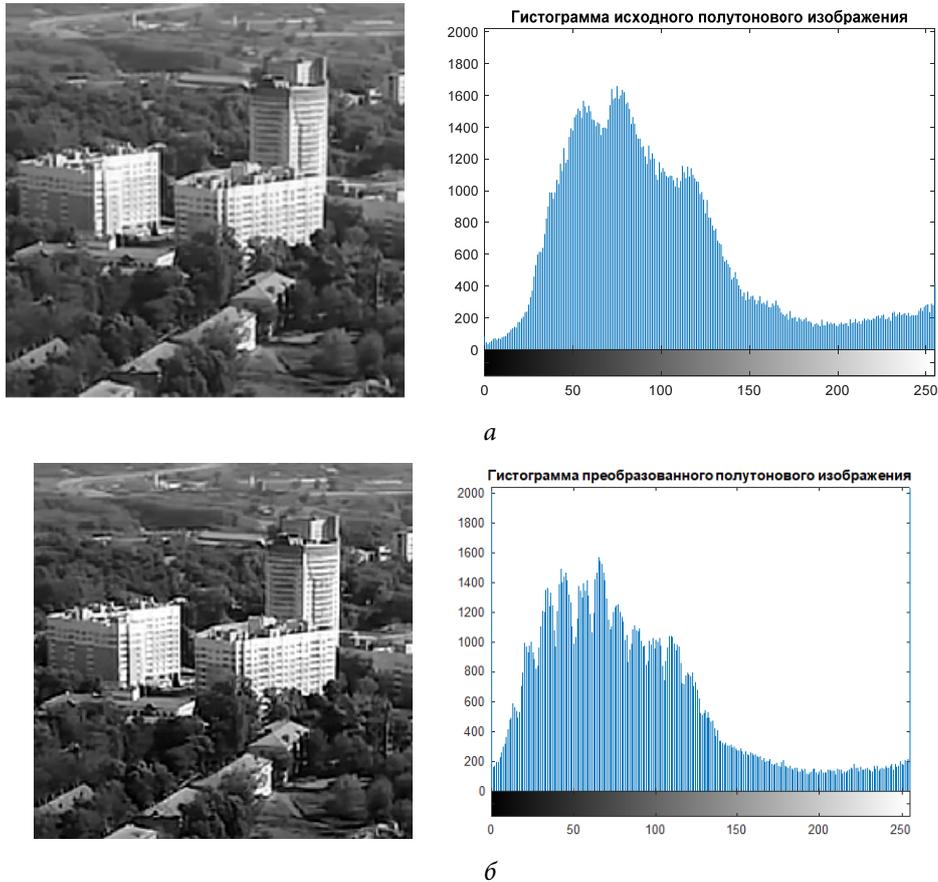


Рис. 2. Полутоновое представление исходного фрагмента и соответствующая ему гистограмма (а); обработанное изображение и соответствующая ему гистограмма (б)

1. Предварительный перевод тестового изображения и кадров с видеоряда в полутоновые изображения с последующим улучшением качества изображений в результате увеличения контрастности, резкости кадра и устранения шумов. Исходный тестовый фрагмент масштабируется до размера 400×400 пикселей (в 2 раза).

2. Обнаружение на обработанном тестовом изображении характерных точек и выделение дескрипторов, соответствующих данным точкам. Далее осуществляется визуализация заданного количества характерных ключевых точек и областей интереса, а также отображение в одном окне 25 фрагментов выборочных ключевых областей (дескрипторов), детектированных на исходном изображении (рис. 3).

3. Непосредственное распознавание объектов с изображения, т. е. соотнесение характерных точек исходного изображения и характерных точек изображений, получаемых при поккадровой съемке. Далее исходное изображение и текущий кадр отображаются в окне просмотра (для удобства визуализации на оба изображения наложены характерные точки и линии, их соединяющие).

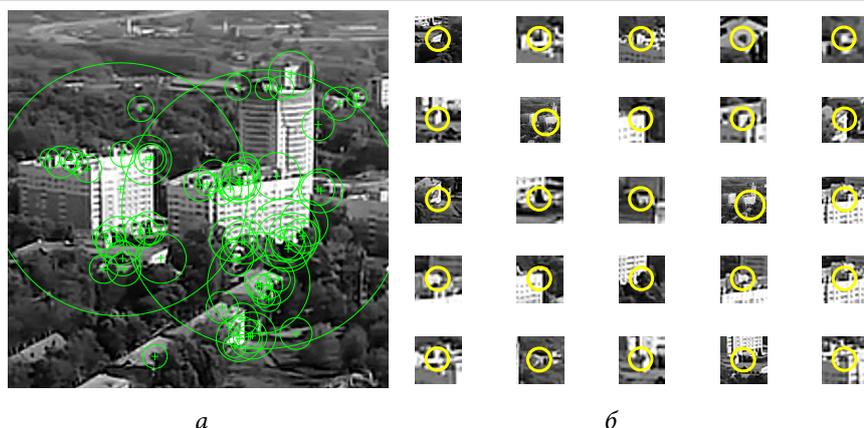


Рис.3. Обработанное масштабированное изображение с нанесенными характерными областями (а) и 25 выборочных фрагментов ключевых областей (б)

4. Разделение ключевых точек на указанные выше категории. Для этого применяют стабильный метод оценки параметров модели на основе случайных выборок RANSAC (аббревиатура от англ. *RAN*dом *SAM*ple *CON*sensus) [13]. Данный метод позволяет оценить параметры модели с высокой точностью, даже если в первоначальном наборе данных присутствует значительное количество выбросов. Недостаток метода RANSAC заключается в необходимости заранее устанавливать конкретное пороговое значение.

В ходе проведенных экспериментов были реализованы операции масштабирования, вращения, смена ракурса, освещенности и размытия кадров, получаемых в процессе съемки. Остановимся подробнее на анализе результатов распознавания.

Размытие вследствие расфокусировки является распространенной несогласованностью, которая ограничивает резкость в изображениях [14]. Дополнительными причинами размывания в изображениях являются нежелательные движения и вибрации системы камер в течение времени экспонирования. На рис. 4 представлено полученное с камеры изображение не в фокусе, масштаб в 2 раза меньше масштаба тестового изображения.

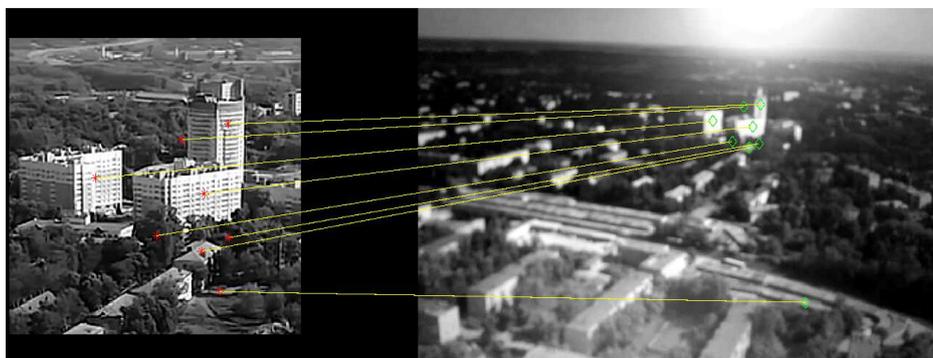


Рис. 4. Распознавание в условиях размытия изображения-сцены

Алгоритм показывает хорошие результаты распознавания даже при условии, что изображение-сцена размыто и, кроме того, тестовый фрагмент сильно масштабирован.

Рис. 5 демонстрирует результат распознавания при повороте изображения в пределах 30° .

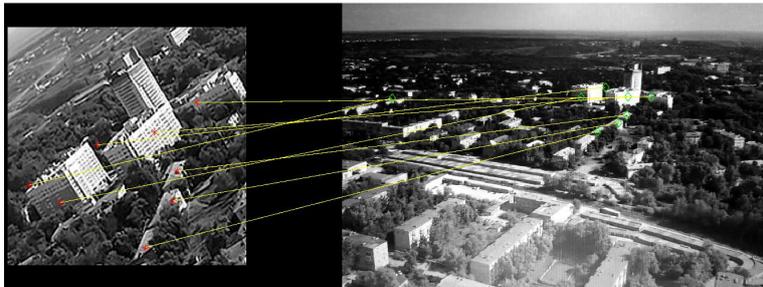
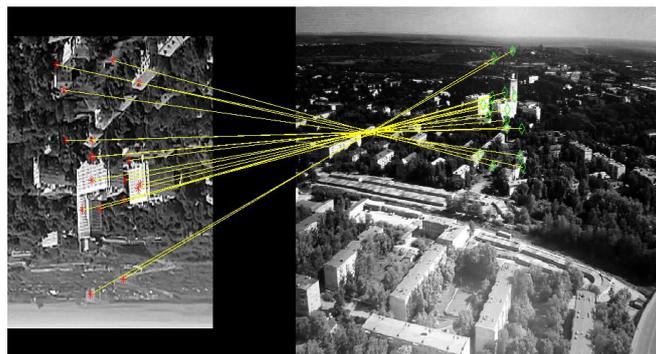
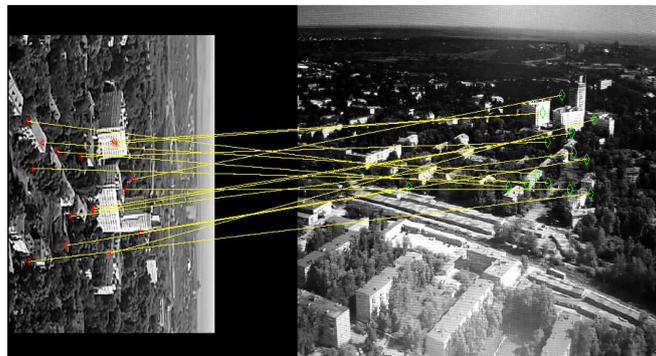


Рис. 5. Результат распознавания при повороте тестового изображения на 30°

Результаты сравнения изображений при повороте на 180° и 90° соответственно представлены на рис. 6. При распознавании выявляются неверно соотнесенные ключевые точки.



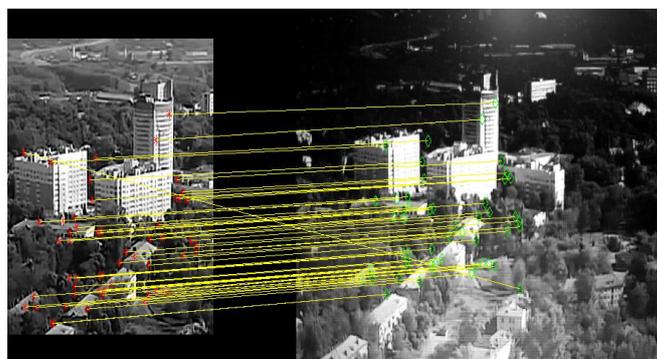
a



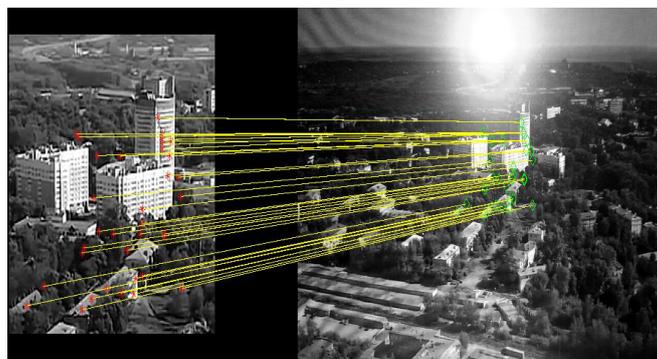
б

Рис. 6. Результат распознавания при повороте тестового изображения на 180° (*a*) и на 90° (*б*)

Далее обратимся к анализу влияния изменения ракурса и освещенности объекта распознавания. Как видно на рис. 7, небольшая смена ракурса, наличие теней или засветки не затрудняет процесс определения и соотнесения характерных точек.



a



б

Рис. 7. Результаты распознавания в условиях низкой освещенности (*a*) и при наличии засветки (*б*)

Для визуализации работы метода SURF также можно использовать приложение Registration Estimator, позволяющее накладывать изображения друг на друга.

После загрузки изображений в приложения и выбора метода определения их соответствия приложение осуществляет поиск ключевых точек на обоих изображениях и предоставляет информацию об общей оценке качества распознавания и времени, затраченном на вычисления.

На рис. 8 представлен искомый фрагмент, повернутый на 30° , который был распознан на изображении-сцене и совмещен со своим исходным положением. Наложение выглядит серым в областях, где оба изображения имеют одинаковую интенсивность.

Согласно приведенным выше результатам распознавания, алгоритм метода SURF практически инвариантен к повороту, искажению формы и размера (масштабированию в 2–3 раза), изменению ракурса съемки и освещенности объектов.



Рис. 8. Фиксированная сцена (зеленый) и тестовый снимок (пурпурный). Серым цветом выделены области с одинаковой интенсивностью

Очевидно, что с увеличением размерности изображений увеличивается и количество найденных опорных точек, но также возрастает и время работы. Таким образом, обработка и распознавание больших изображений накладывает ограничение на применение данного метода в системах, работающих в режиме реального времени.

Выводы и перспективы применения. В данной работе подробно описан процесс распознавания эталонного объекта (заданного изображения) на изображении-сцене или на съемке в режиме реального времени. Проведен анализ алгоритмов распознавания изображений SIFT и SURF с целью обнаружения и выделения дескрипторов, основан-

ных на областях, прилегающих к ключевым точкам. С помощью определения локальных векторов ориентации точек интереса достигается инвариантность к повороту. После получения дескрипторов каждой характерной области, становится возможным провести сравнение двух изображений путем определения минимального «расстояния» (максимального соответствия) между двумя векторами дескрипторов.

Описана структура работы алгоритма и даны пояснения к проведенным экспериментам, рассмотрены различные методы улучшения визуального качества изображений, включая изменение резкости, яркости и контрастности, шумоподавление и устранение размытости. Данный алгоритм может быть использован для решения схожих задач распознавания объектов и поиска в базе данных изображения, наиболее похожего на поданное на вход системы, а также анализа последовательности изображений, поступающих с видеокамер в режиме реального времени или взятых из архивных записей.

Скорость работы алгоритма можно повысить путем сжатия изображений, уменьшения количества кадров, получаемых в секунду. Изменение в определенных пределах масштаба или ракурса съемки, расфокусировка, поворот изображения, затемнение фона снимка не оказывают существенного влияния на ухудшение качества распознавания изображения. Полученные результаты показывают возможность будущего применения подобной системы для решения задач локализации на местности путем сканирования окрестностей с целью обнаружения заданных объектов.

Таким образом, рассмотренный алгоритм позволяет распознавать тестовое изображение на съемке в режиме реального времени, с минимальной задержкой на передачу данных с камеры в рабочее пространство MATLAB и покадровую обработку видео. Несмотря на робастность алгоритма SURF, нужно принимать во внимание тот факт, что обнаруженные ключевые точки могут не совпадать, что приве-

дет к неверной идентификации объекта в случае, если количество таких ошибочных совпадений превышает заданный порог. Для устранения данной проблемы можно применять алгоритмы фильтрации ключевых точек (к примеру, RANSAC).

Литература

- [1] Бычков С.С. Классификация методов распознавания дорожных знаков по видеопоследовательности. *Решетневские чтения*, 2017, № 21-2, с. 313–314.
- [2] Олейник А.Л. Применение бинарных дескрипторов для трекинга множества лиц в системах видеонаблюдения. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 2016, т. 16, № 4, с. 670–677.
- [3] Панков В.В., Каплиева Н.А. Создание панорамных изображений методами компьютерного зрения. *Вестник ВГУ, Серия: Системный анализ и информационные технологии*, 2014, № 4, с. 71–74.
- [4] Половинкин А.Н. Алгоритмы классификации изображений с большим числом категорий объектов. *Вестник ННГУ*, 2013, № 4-1, с. 225–230.
- [5] Пастушков А.В., Калайда В.Т. Методы и алгоритмы поиска объекта на видеопотоке. *Сборник научных трудов SWorld*, 2013, т. 6, № 3, с. 38–42.
- [6] Bay H., Ess A., Tuytelaars T., et al. “Speeded-up robust features (SURF)”. *Comput. Vis. Image Und.*, 2008, vol. 110, no. 3, pp. 346–359. DOI: 10.1016/j.cviu.2007.09.014 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077314207001555>
- [7] Thambi M.S.S.M.S., Menon M.V.R. Offline text document authorization on the basis SIFT and SURF. *IJSTE*, 2015, vol. 1, no. 10, pp. 328–331.
- [8] Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features. *Proc. Int. Conf. Computer Vision*, 1999, pp. 1150–1157. DOI: 10.1109/ICCV.1999.790410 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/790410>
- [9] Дышлюк В.О. Исследование показателей качества и быстродействия поиска опорных точек на изображениях методом SURF. *Молодой ученый*, 2018, № 27, с. 23–26.
- [10] Lowe D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *Int. J. Comput. Vis.*, 2004, vol. 60, no. 2, pp. 91–110. DOI: 10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94 URL: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AVISI.0000029664.99615.94>
- [11] Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital image processing. Prentice Hall, 2002.
- [12] Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2002.
- [13] Hartley R., Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision. Cambridge university press, 2003.
- [14] Яне Б. Цифровая обработка изображений. М., Техносфера, 2007.

Пименова Мария Борисовна — студентка кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Пименова М.Б. Разработка системы навигации учебного мобильного робота. *Политехнический молодежный журнал*, 2019, № 10(39). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-10-540>

RECOGNITION OF CHARACTERISTIC OBJECTS ON THE GROUND USING THE SURF METHOD

M.B. Pimenova

pimenovamb@student.bmstu.ru

SPIN-code: 6575-7056

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

One of the most resistant to projective distortion methods — Speeded Up Robust Features (SURF), which consists in finding specific points of the image. Due to its invariance to shooting conditions and projective transformations, the SURF algorithm can be used to search for objects in real time, solve a navigation problem, and determine the current fragment of the underlying surface in order to obtain the coordinates of the aircraft. The process of recognizing a given fragment on a survey in real time is described. Various image pre-processing algorithms are considered to improve the efficiency of pattern recognition. A study was made of the recognition capabilities in conditions of different illumination, during deformation by scaling and rotation, when changing the level of brightness and blur of the image, as well as the point of view.

Keywords

SURF method, image processing, image recognition, key points, feature point descriptors, camera calibration, machine vision

Received 09.09.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Bychkov S.S. Klassifikatsiya metodov raspoznavaniya dorozhnykh znakov po video-posledovatel'nosti. *Reshetnevskie chteniya*, 2017, no. 21-2, pp. 313–314 (in Russ.).
- [2] Oleynik A.L. Application of binary descriptors to multiple face tracking in video surveillance systems. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2016, vol. 16, no. 4, pp. 670–677 (in Russ.).
- [3] Pankov V.V., Kaplieva N.A. Creating panoramic images with the computer vision methods. *Vestnik VGU, Seriya: Cistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems analysis and information technologies], 2014, no. 4, pp. 71–74 (in Russ.).
- [4] Polovinkin A.N. Algorithms for image classification with a large number of object categories. *Vestnik NNGU* [Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod], 2013, no. 4-1, pp. 225–230 (in Russ.).
- [5] Pastushkov A.V., Kalayda V.T. [Search methods and algorithms of an object in videostream]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld* [Proc. SWorld], 2013, vol. 6, no. 3, pp. 38–42 (in Russ.).
- [6] Bay H., Ess A., Tuytelaars T., et al. “Speeded-up robust features (SURF)”. *Comput. Vis. Image Und.*, 2008, vol. 110, no. 3, pp. 346–359. DOI: 10.1016/j.cviu.2007.09.014 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077314207001555>
- [7] Thambi M.S.S.M.S., Menon M.V.R. Offline text document authorization on the basis SIFT and SURF. *IJSTE*, 2015, vol. 1, no. 10, pp. 328–331.

- [8] Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features. *Proc. Int. Conf. Computer Vision*, 1999, pp. 1150–1157. DOI: 10.1109/ICCV.1999.790410 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/790410>
- [9] Dyshlyuk V.O. Study on quality parameters and data points search speed on images using SURF method. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2018, no. 27, pp. 23–26 (in Russ.).
- [10] Lowe D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *Int. J. Comput. Vis.*, 2004, vol. 60, no. 2, pp. 91–110. DOI: 10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94 URL: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AVISI.0000029664.99615.94>
- [11] Gonzalez R.C., Woods R.E. *Digital image processing*. Prentice Hall, 2002.
- [12] Gruzman I.S., Kirichuk V.S., Kosykh V.P., et al. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v informatsionnykh sistemakh* [Digital image processing in information systems]. Novosibirsk, NGTU Publ., 2002 (in Russ.).
- [13] Hartley R., Zisserman A. *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press, 2003 (in Russ.).
- [14] Jähne B. *Digital image processing*. Springer, 2005. (Russ. ed.: *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy*. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2007.)

Pimenova M.B. — Student, Department of Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Pimenova M.B. Recognition of characteristic objects on the ground using the SURF method. *Politeknicheskii molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2019, no. 10(39). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-10-540.html> (in Russ.).