

Метод масштабно-инвариантной трансформации признаков для быстрой оценки параметров поворота объектов на двумерном изображении

Р. Д. Колб, Е. П. Микитчук

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: rostislavkolb@gmail.com*

Представлен адаптированный метод масштабно-инвариантной трансформации признаков для быстрой оценки параметров поворота объектов на двумерном изображении. Выявлены преимущества и недостатки данного метода, описана математическая модель алгоритма. Приведены результаты верификации данного метода, реализованного в виде компьютерного приложения, а также предложены дальнейшие направления его развития.

Ключевые слова: компьютерное зрение; обработка изображения; обнаружение объектов; ключевые точки; дескрипторы особых точек; масштабно-инвариантная трансформация признаков.

Scale-invariant feature transform method for rapid estimation of rotation parameters of objects in a two-dimensional image

R. D. Kolb, A. P. Mikitchuk

*Belarusian State University, Minsk, Belarus,
e-mail: rostislavkolb@gmail.com*

Scale-invariant feature transformation method adopted for rapid estimation of object rotation parameters in a two-dimensional image is presented. Advantages and disadvantages of the method are identified. Mathematical algorithm is described, additionally, the verification of the software realization performance is presented. Future directions are proposed for development of scale-invariant feature transformation method adopted for rapid estimation of object rotation parameters.

Keywords: computer vision; image processing; object detection; key points; special point descriptors; scale-invariant feature transformation (SIFT).

Введение

Современные технологии компьютерного зрения позволяют решать множество задач, причем базовыми являются задачи определение параметров объектов на двумерном изображении [1–3]. Такие параметры могут включать угол поворота объекта относительно осей изображения, его положение в пространстве, форму и размеры. Методы быстрой оценки параметров поворота объектов находят свое широкое практическое применение в таких областях, как промышленное производство, медицина, автоматизированное управление, робототехника и безопасность [4]. Данные методы должны эффективно обрабатывать большой объем данных за короткий промежуток времени и получать точный результат, применимый дальнейших вычислениях и оценках параметров объектов.

Среди методов быстрой оценки параметров поворота объектов выделяется метод масштабно-инвариантной трансформации признаков (SIFT): алгоритм находит определенные ключевые точки и дополняет их количественной информацией, дескрипторами, которые могут использоваться, например, для распознавания объектов [1–2, 5]. Дескрипторы должны быть инвариантны к различным преобразованиям, которые могут сделать изображения различными, хотя они представляют один и тот же объект [2].

В работе приводятся результаты исследования и реализации алгоритма быстрой оценки параметров поворота объектов на двумерном изображении как базового параметра объектов на двумерных изображениях.

1. Математическая модель алгоритма SIFT

В рамках алгоритма SIFT вначале выполняется масштабирование изображения, в частности, алгоритм в несколько раз увеличивает или уменьшает размер входного изображения с помощью билинейной интерполяции в зависимости от задачи [1], которая предполагает определение значений пикселей в новом изображении на основе ближайших известных значений пикселей в исходном. Такой способ формирования серии изображений повторяется для каждого размера (масштаба) изображения и необходим для того, чтобы имитировать разные масштабы наблюдения для последующего подавления мелких и незначительных структур [1–2, 4]. Это позволяет алгоритму рассматривать изображение в различных «увеличенных» и «уменьшенных» версиях, что позволяет выявить характеристики объектов независимо от их размера.

Для каждого из масштабов создается набор изображений с разной степенью размытия, основанный на последовательных свертках с использованием гауссовского фильтра с увеличивающимся стандартным отклонением. Гауссовский фильтр представляет собой математическую функцию, используемую для размытия изображения, а его стандартное отклонение определяет степень размытия. Каждое изображение в такой серии представляет собой результат свертки предыдущего изображения с «более усредняющим», чем на предыдущем шаге, фильтром. Таким образом получается, что каждое новое изображение получается из предыдущего путем размытия, что помогает выявить общие особенности без учета мелких деталей.

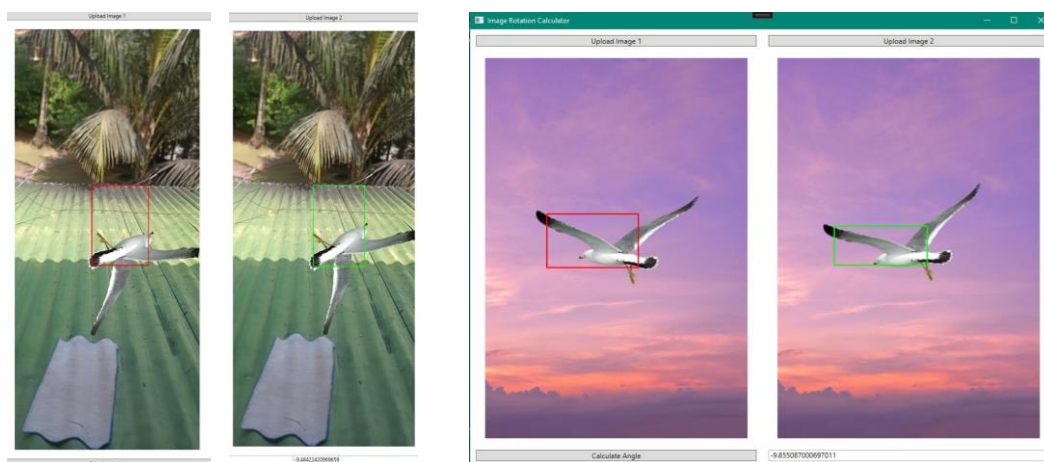
Для формирования ключевых точек изображения используется операция по-пиксельного вычитания одного размытого изображения из другого [5–6]. Это позволяет выделить различия в размытости и выявить области, где характеристики изображения изменяются наиболее существенно. Таким образом строятся приближения производных по пространству масштабов, причем характеристический масштаб определяется стандартным отклонением гауссовского фильтра для текущего размытия. Данная операция проводится для каждого размера изображений. Для поиска ключевых точек оцениваются экстремумы разностных матриц, которые в контексте алгоритма, являются точками, яркости которых достигают локального максимума или минимума для каждого из масштабов.

После исключения краевых точек алгоритм, если это возможно, назначает каждой оставшейся ключевой точке ориентацию, которая определяется путем

определения доминирующего направления градиентов в непосредственной ее окрестности [1, 7]. Точки без доминирующей ориентации исключаются, поскольку они не могут обеспечить устойчивость идентификации при поворотах объектов на изображении [8]. Затем вычисляются дескрипторы для каждой из ключевых точек как числовое представление окрестности ключевой точки, которое содержит информацию о распределении градиентов в этой области. Для этого вычисляется гистограмма распределения направлений градиентов, которая центрируется каждый раз относительно вероятного значения путем выбора системы координат. Это позволяет создать дескриптор, который инвариантен к поворотам объектов на изображении. В результате исследования тестовых изображений с детерминированным поворотом объектов на них установлено, что при выборе таких дескрипторов достигается инвариантность алгоритма SIFT к различным трансформациям изображений.

2. Верификация метода масштабно-инвариантной трансформации признаков

Для верификации алгоритма использовались тестовые изображения с детерминированным поворотом объектов. Формировались двуслойные изображения, в которых один слой использовался в качестве фона, другой вращался на заданные углы. В результате чего каждое тестовое изображение содержит объект, повернутый на разный угол относительно исходного объекта. Затем с помощью приложения, разработанного на основе адаптированного для сравнения параметров поворота двух объектов алгоритма SIFT, вычислялся угол поворота объекта. На рисунке приведен вид окна разработанного приложения после вычисления угла поворота между объектами на изображениях.



Вид окна разработанного приложения для вычисления угла поворота между объектами на различных тестовых изображениях

В результате исследования тестовых изображений с детерминированным поворотом объектов на них установлено, что при оценке параметров поворота на изображениях с одинаковым фоном или однотонным фоном, при размере 1280×720

пикселей относительная неопределенность определения поворота составляет менее 1.4 %. При использовании текущей версии алгоритма SIFT при оценке параметров поворота на изображении с неоднородным изменяющимся фоном размером 1920×1080 пикселей относительная неопределенность увеличивается до 7.6%, что обусловлено формированием большего количества ключевых точек, ассоциированных с изменениями фона. При использовании около 190 – 490 МБ оперативной памяти DDR4 персонального компьютера время обработки пары изображений размером 1280×720 пикселей составляет порядка 2.5 мс, а для изображений размером 1920×1080 время обработки увеличивается до 4.3 мс.

Исходя из того, что полученные скорости позволяют вести обработку в режиме реального времени для стандартного видеоряда, далее планируется усовершенствовать подходы по выбору ключевых точек, не ассоциированных с поворотом объектов, основанные на анализе серии изображений.

Заключение

В работе показано, что алгоритм масштабно-инвариантной трансформации признаков позволяет обеспечить инвариантность к различным трансформациям изображений при повороте объектов на них, данный алгоритм позволяет создавать набор ключевых точек и вычислять их дескрипторы, обладающие инвариантностью к поворотам. Установлено, что предложенный алгоритм позволяет оценить параметры поворота на большом числе тестовых данных с точностью до десятых градуса, причем позволяют вести обработку в режиме реального времени для стандартного видеоряда. Таким образом, предлагаемый алгоритм масштабно-инвариантной трансформации признаков может быть использован в системах безопасности, обзора периметра, наблюдения.

Библиографические ссылки

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений, М: Техносфера, 2019. 1104 с.
2. Ives R. O., Mauricio D. K. Anatomy of the SIFT Method / IPOL Journal. 2014. P. 372–394.
3. Current state of the research on optoacoustic fiber-optic ultrasonic transducers based on thermoelastic effect and fiber-optic interferometric receivers/ A. P Mikitchuk, [et al.] // Computer Optics. 2023. Vol. 4, iss. 47. P. 503–523.
4. Таулинский А. Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений. –Ульяновск: УлГТУ, 2000. 132 с.
5. Chen C. Wavelet transformation for gray-level corner detection / C. Chen, J. Lee, Y. Sun // Pattern Recognition. 1995. Vol. 28, № 6. P. 853-861.
6. Gotsman C. Constant time filtering with singular value decomposition. // Computer Graphics Forum: special issue on Rendering. 1994. Vol. 16, № 2. P. 153–163.
7. Heckbert P. D. Survey of texture mapping // IEEE Computer Graphics and Applications. 1986. P. 56–67.
8. Lowe D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. // International Journal of Computer Vision. 2000. Vol. 60, № 2. P. 91–110.