

А.А. Захаров, А.Е. Баринов, А.Ю. Тужилкин  
 Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета  
 Россия, 602264, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, д.23  
 E-mail: aa-zaharov@ya.ru, alexey.barinov.murom@yandex.ru, ay-tuzhilkin@ya.ru

### Использование тепловых ядер на графах для нахождения соответствий на стереоизображениях

Нахождение соответствий на изображениях является важной задачей в различных областях компьютерного зрения: обнаружении объектов, трехмерной реконструкции, распознавании образов и т.д. Существующие методы сопоставления находят соответствия между отдельными особенностями изображений и не учитывают их взаимного расположения. При наличии шумов, взаимных перекрытий, повторяющихся фрагментов сцен, изменении ракурса использование подобных подходов приводит к ошибкам нахождения соответствий. Одним из известных методов является дескриптор SURF (Speeded Up Robust Features) [1], обладающий высокой скоростью. Однако точность метода значительно уменьшается при сопоставлении изображений, полученных с различных ракурсов. Для повышения устойчивости предлагается использовать структурный подход на основе графов, который выделяет наиболее стабильные особенности [2, 3]. В работе предлагается использовать граф Делоне.

Повысить точность нахождения соответствий предлагается за счет использования только наиболее стабильных особенностей, которые присутствуют на двух сопоставляемых изображениях. Подобные стабильные особенности выделяются на начальном этапе алгоритма при помощи тепловых ядер на графах. Таким образом, используя только те особенности, которые с большей вероятностью будут присутствовать на сопоставляемых изображениях, предлагается уменьшить количество ложных соответствий. Такие особенности будут соответствовать вершинам графа, которые называются «горячими». «Горячие» вершины могут быть получены с помощью тепловых ядер и термодинамического уравнения, которое широко используется в физике и химии при изучении газов. Для получения «горячих» вершин графа, инвариантных к различным типам преобразований, анализируется изменение состояния графа во времени. Также сопоставление даже небольшого количества вершин по принципу «многие-ко-многим» будет трудоемким. Для решения этой задачи предлагается преобразовать полученные «горячие» вершины в иерархическую структуру, сопоставление которой будет осуществляться по принципу сравнения подграфов. На вход алгоритма поступает предварительно выделенная на изображении область головы. Выделяются особенности изображения с помощью SURF [1]. По точкам строится граф Делоне  $\Gamma = (V, E)$ , где каждая вершина соответствует выделенной особенности, а некоторые пары вершин соединены ребрами согласно триангуляции.

Распределение информации по графу выражается с помощью термодинамического уравнения, решением которого является тепловое ядро. Тепловое ядро показывает изменение количества проходимой информации через каждую вершину графа с течением времени. Тепловое ядро описывается квадратной матрицей размером  $|V| \times |V|$ :

$$H_t(u, v) = \sum_{i=1}^{|V|} e^{-\lambda_i t} \phi_i(u) \phi_i(v) \quad (1)$$

где  $t$  – время потенцирования собственного подпространства,  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{|V|}$  – собственные значения графа,  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_{|V|}$  – собственные векторы графа.

Значение времени влияет на распределение информации по графу. Эмпирическим путем, опираясь на данные расчетов, был сделан вывод, что наиболее оптимальным временем для выделения «горячих» вершин является величина  $t = 11$ . «Горячие» вершины – это вершины, через которые на протяжении некоторого отрезка времени проходит наибольшее количество информации.

Если граф имеет  $m$  вершин, то матрица теплоты  $H_t$  будет иметь  $m^2$  элементов, среди которых необходимо выделить самые стабильные («горячие») вершины:

$$n_h = \{i \mid H_t(i, i) \geq \mu\} \quad (2)$$

## Секция 10. Оптическое, передача и обработка видеoinформации

где  $\mu$  – порог, который равен значению  $(m+1)$ -ого максимального элемента матрицы теплового ядра  $H_i$ .

Нахождение соответствий на изображениях  $I_1$  и  $I_2$  будет осуществляться по следующему алгоритму.

Шаг 1. Выделяются особенности детектором SURF, строится граф Делоне.

Шаг 2. Выполняется поиск «горячих» вершин.

Шаг 3. Нахождение между найденными «горячими» вершинами осуществляется с использованием SURF-дескрипторов.

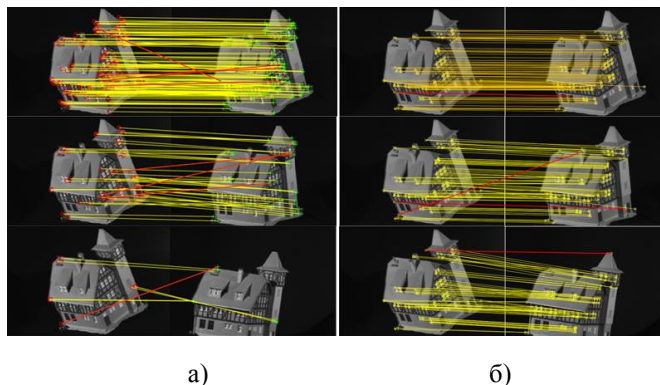


Рис. 1. Результаты сопоставления для тестовых изображений:  
а) алгоритм SURF; б) Алгоритм с использованием тепловых ядер на графах

Было проведено исследование алгоритма. Алгоритм SURF показывает плохие результаты при повороте объекта от  $15^\circ$  и более. В тоже время с помощью разработанного алгоритма формируется меньшее количество ложных соответствий (рис. 2).

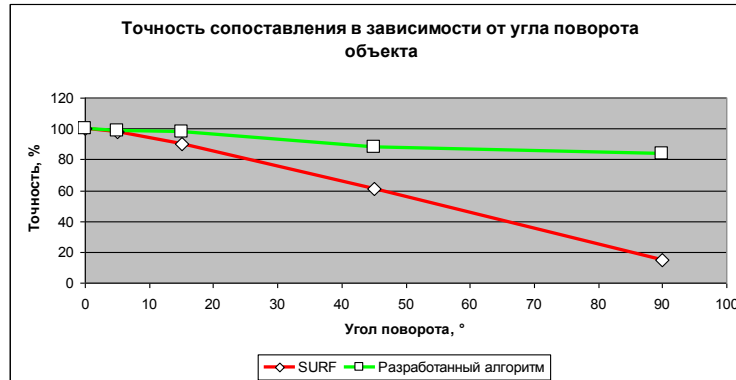


Рис. 2. Точность алгоритмов уменьшается при увеличении угла поворота между объектами

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-37-00235, № 16-37-00236

### Литература

1. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded Up Robust Features // Computer Vision and Image Understanding (CVIU), 2008. Vol. 110, No. 3, P. 346-359.
2. Захаров А.А., Тужилкин А.Ю. Формирование структурного представления трехмерных сцен на основе синтаксического анализа видеоизображений // Научно-технический вестник Поволжья, 2013. № 6. С. 285-288.
3. Баринов А.Е., Захаров А.А. Разработка алгоритма определения положения и ориентации 3D-объектов на основе извлечения градиентных особенностей изображения // Ползуновский вестник, 2014. № 2. С. 50-54.