

Распознавание объектов на местности в системах управления беспилотных летательных аппаратов

С.А. ЛЯШЕВА,
канд. техн. наук,
М.В. МЕДВЕДЕВ,
ст. преподаватель,
М.П. ШЛЕЙМОВИЧ,
канд. техн. наук
(КНИТУ-КАИ, Казань)
stellyash@mail.ru

Рассмотрены методы выделения объектов на изображениях местности в системах управления беспилотных летательных аппаратов. Описан алгоритм сегментации изображений на основе анализа особых точек, полученных с помощью вейвлет-преобразования.

Беспилотный летательный аппарат, техническое зрение, цифровая обработка изображений, вейвлетные методы обработки изображений, особые точки, сегментация изображений, выделение объектов на изображениях

Развитие отечественной беспилотной авиации гражданского и военного назначения является одной из наиболее актуальных современных задач [1].

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) представляют собой сложные многофункциональные объекты, действующие в сложной окружающей обстановке, управление ими осуществляется на основе обработки разнородной информации. Важными источниками информации для принятия решений в системах управления БЛА являются средства машинного зрения, получающие и обрабатывающие изображения различной природы (оптические, инфракрасные, тепловизионные, радиолокационные, мультиспектральные) при решении задач навигации, наведения, разведки и сопровождения [2].

Решение указанных задач связано с сопоставлением текущего изображения и эталонного модельного описания сцены наблюдения с последующим выделением и определением координат заданных объектов с целью формирования сигналов управления движением летательного аппарата. При этом необходимо учитывать ограничения, связанные с априорной неопределенностью объектов распознавания и сцены в целом (неточность определения координат объектов, изменчивость двумерных полей и т.д.), радиометрическими (яркостными) и геометрическими искажениями текущего изображения, помехами естественного и искусственного происхождения [3, 4].

Кроме того, необходимо принимать во внимание ограничения на вычислительные ресурсы системы управления БЛА, которые должны функционировать в реальном времени. В связи с этим актуальна задача разработки и исследования методов, позволяющих достигнуть заданной точности при выделении и распознавании объектов на изображении на основе минимально возможного объема информации.

Один из наиболее часто применяемых подходов к выделению объектов на авиационных снимках местности заключается в сравнении характерных черт – атрибутов точек, линий и областей с их геометрическими, яркостными, цветовыми, текстурными, структурными параметрами [3].

В качестве характерных черт могут быть использованы так называемые особые (ключевые) точки (точечные особенности), получаемые с помощью соответствующих детекторов и дескрипторов [5]. Результатом работы детекторов является множество особых точек, для которых необходимо построить математическое описание. Для этого используются дескрипторы особых точек.

Входными данными дескриптора является изображение и набор особых точек, выделенных на заданном изображении. Выход дескриптора – множество значений признаков для исходного набора особых точек, строящихся на основании информации об интенсивности, цвете и текстуре особой точки. Они должны обладать свойствами повторяемости, локальности, репрезентативности, точности, эффективности.

В настоящее время наиболее часто используются детекторы/дескрипторы особых точек – SIFT и SURF, которые считаются наиболее эффективными для применения в системах управления БЛА [5].

При проектировании модулей системы управления БЛА необходимо учитывать, что они должны работать в реальном времени и при ограниченности вычислительных ресурсов, поэтому перспективны подходы, позволяющие унифицировать процедуры обработки. Один из таких подходов базируется на вейвлет-преобразовании, который был практически реализован и исследован в рамках выполнения научно-исследовательской работы по теме «Цифровая обработка изображений в системах управления мобильными объектами» на кафедре АСОиУ КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева. Соответствующая подсистема является частью разрабатываемого аппаратно-программного комплекса. При этом обеспечиваются одни и те же процедуры обработки и структуры данных для шумоподавления, сегментации, распознавания и сжатия изображений [6, 7].

Применение вейвлет-преобразования для выделения точечных особенностей позволяет получить приемлемое для ограниченных ресурсов вычислительной системы соотношение между количеством особых точек и временем их получения. Процедура выделения особых

точек в этом случае заключается в следующем алгоритме.

1. Выполнить вейвлет-преобразование изображения до n -го уровня детализации.

2. Начиная с n -го уровня для каждого вейвлет-коэффициента с большим значением (такие коэффициенты соответствуют областям изображения, в которых содержатся точечные особенности) рекурсивно выполнять шаги.

2.1. Для каждого пикселя исходного изображения, расположенного в k -й строке и l -м столбце n -го уровня детализации вычислить значение веса по формуле:

$$C_n(k, l) = \sqrt{dh_n^2(k, l) + dv_n^2(k, l) + dd_n^2(k, l)}, \quad (1)$$

где $dh_n(k, l)$, $dv_n(k, l)$, $dd_n(k, l)$ – горизонтальный, вертикальный и диагональный коэффициенты вейвлет-преобразования пикселя.

2.2. Выполнить рекурсивный переход на $(n - 1)$ -й уровень детализации.

2.3. Скорректировать вес особой точки в соответствии с формулой:

$$\begin{aligned} W_{n-1}(k, l) &= W_n(x, y) + C_n(k, l), \\ 2x \leq k \leq 2x + 1, \\ 2y \leq l \leq 2y + 1. \end{aligned} \quad (2)$$

3. Задать пороговое значение.

4. Пометить в качестве точечных особенностей пиксели, веса которых превышают заданный порог.

5. Выделить единственную особую точку в пределах некоторой окрестности заданного размера по критерию наибольшей значимости (веса), остальные точки отсеять.

Предлагается метод построения дескрипторов точечных особенностей, основанный на вычислении вейвлет-преобразования изображения. Каждая особая точка характеризуется при помощи дескриптора D , сформированного из значений основных коэффициентов вейвлет-преобразования, полученных при помощи алгоритма Малла на заданном уровне вейвлет-разложения изображения:

$$D = \{W_\varphi(u, m, n)\}; \quad (3)$$

$$W_\varphi(u, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \varphi_{u, m, n}(x, y), \quad (4)$$

где $f(x, y)$ – функция значений интенсивности цифрового изображения; $\varphi_{u, m, n}(x, y)$ – семейство базисных вейвлетов, по которым проводится разложение; $W_\varphi(u, m, n)$ – коэффициенты вейвлет-преобразования заданного уровня u .

Такое описание окрестности особой точки позволяет получить дескрипторы, размерность которых меньше размерности дескрипторов, составленных при помощи гистограмм векторов ориентации градиентов, которые используются в известных методах SIFT и SURF. Размерность дескриптора SIFT составляет 128 элементов, дескриптора SURF – 64 элемента, в предлагаемом вейв-

лет-методе – 4 элемента, представляющие собой коэффициенты вейвлет-преобразования конечного уровня разложения. При этом точность сопоставления дескрипторов на основе вейвлет-преобразования сравнима с точностью методов SIFT и SURF.

Для проведения экспериментов были выбраны изображения кораблей на фоне моря. Правильным соответствием в эксперименте считалось соответствие двух особых точек, имеющих обратное отображение $\bar{\Omega}: P^2 \rightarrow P^1$, сопоставляющее каждую особую точку сцены с точкой эталона: если существует соответствие для точки p_i^1 вида $\theta_j: p_i^1 \rightarrow p_k^2$ (где $\theta_j \in \theta$), тогда (если существует такое соответствие $\bar{\theta}_q: p_k^2 \rightarrow p_i^1$, где $\bar{\theta}_q \in \bar{\theta}$) соответствие θ_j считается правильным.

На рис. 1 представлен результат сопоставления методом выделения и описания особых точек при помощи вейвлет-преобразования точек изображения сцены, содержащей объект, и модели изображения объекта, подвергнутого повороту и масштабированию. При этом из 67 особых точек модели на изображении сцены было найдено 8 точек, что составляет 11,9 %, дескриптор состоял из четырех коэффициентов вейвлет-преобразования.

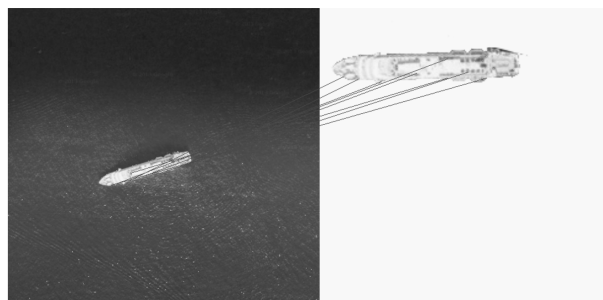


Рис. 1. Сопоставление особых точек сцены и эталонного объекта

В результате проведения серии экспериментов было установлено, что точность сопоставления особых точек различными методами составляет: SIFT – 15 % при размерности дескриптора 128, SURF – 20 % при размерности дескриптора 64 и вейвлет-метод – 16 % при размерности дескриптора 4.

Используя описание особых точек при помощи предлагаемого метода, размерность дескриптора удалось уменьшить в 32 раза по сравнению с дескриптором SIFT при сравнимой точности и в 16 раз по сравнению с методом SURF при снижении точности на 4 %.

Уменьшение размерности дескриптора особой точки приводит к уменьшению количества элементарных операций вычисления расстояний между каждой парой особых точек и, следовательно, к уменьшению времени поиска соответствий особых точек путем сравнения расстояний между их дескрипторами. Это дает преимущество при использовании данного метода в системах с ограниченными ресурсами, осуществляющих обработку изображений в масштабе времени, близком к реальному, к которым относятся и системы управления БЛА.

Однако вычисление соответствия точечных особенностей не позволяет выделить объект соответствия с данными особенностями. Для выделения такого объекта необходимо провести предварительную сегментацию изображения сцены. В данной работе для сегментации изображения предлагается использовать метод выделения особых точек вейвлет-преобразования.

Процедура сегментации в общем виде состоит в следующем.

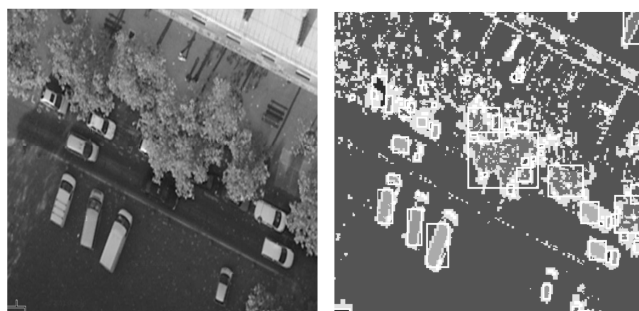
1. Выделяются особые точки вейвлет-преобразования при заданном уровне преобразования и пороговом значении веса особой точки.

2. Особые точки изображения объединяются в область переднего плана, остальные точки – в область заднего плана (фон).

3. В области переднего плана выделяются сегменты, окруженные точками фона.

Выделение области, содержащей объект, осуществляется путем сегментации полученного изображения при помощи построчного алгоритма маркировки связанных компонент.

На рис. 2 представлено исходное изображение, содержащее объекты городской местности (рис. 2, а), и изображение с найденными особыми точками вейвлет-преобразования и выделенными при помощи сегментации объектами (рис. 2, б).



а б
Рис. 2. Результат сегментации изображения

После выделения сегментов они сопоставляются с эталонными изображениями целевых объектов. При этом используется вычисление дескрипторов особых точек

вейвлет-преобразования и сопоставление дескрипторов особых точек. В данном случае преимущество применения алгоритма сегментации на основе вейвлет-преобразования состоит в том, что при последующем поиске соответствия используются уже вычисленные особые точки вейвлет-преобразования, что сокращает время и снижает требования к вычислительным ресурсам.

Таким образом, способ выделения объектов, заключающийся в сегментации и последующем поиске точечных соответствий сегментов, основанный на едином математическом аппарате вейвлет-преобразования, позволяет снизить требования к вычислительным ресурсам системы управления БЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колпаков С.А. и др. Проблемы и перспективы развития отечественной авиационной промышленности: Аналитический доклад Межведомственного аналитического центра [Электронный ресурс]. URL: www.iacenter.ru/publication-files/132/111.pdf (дата обращения: 28.09.2013).
2. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Проблемы технического зрения в современных авиационных системах // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами – 2010: Тр. науч.-техн. конф.-семинара, г. Таруса, 16–18 марта 2010. М.: КДУ, 2011. Вып. 4. С. 11–44.
3. Веремеенко К.К. и др. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратах. М.: Физматлит, 2009. 556 с.
4. Алтатов Б.А. и др. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. М.: Радиотехника, 2008. 176 с.
5. Пуртов И.С., Синча Д.П. Исследование методов и разработка алгоритмов обработки видеoinформации в задачах локализации положения БЛА на основе распознавания изображений при помехах и искажениях // Тр. МАИ [Электронный журнал]. 2012. № 52. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29444> (дата обращения: 28.09.2013).
6. Емалетдинова Л.Ю., Шлеймович М.П. Вейвлет-фильтрация измерительной информации // Информационные технологии и их приложения: Сб. трудов региональной науч.-техн. конф., г. Казань, 1 июля 2011. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2011. С. 259–262.
7. Дзенчарский Н.Л., Медведев М.В., Шлеймович М.П. Поиск изображений с выделением особых точек на основе вейвлет-преобразования // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2011. № 1. С. 131–135.

Поступила в редакцию
5.10.13

Terrain Object Recognition in Unmanned Aerial Vehicle Control System

S.A. LYASHEVA, M.V. MEDVEDEV, AND M.P. SHLEIMOVICH

In the paper, we consider the techniques of object extraction from the terrain images in unmanned air vehicle control system. We describe an algorithm of image segmentation based on analyzing the key points obtained by wavelet transform.

Unmanned aerial vehicle (UAV), machine vision, digital image processing, wavelet transform of image processing, key points, image segmentation, object selection from images