

УДК 004.932.72'1

А. Ю. Дорогов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Локализация графических объектов растровых изображений на основе метода углового подобия

Предложен метод локализации графических объектов сцен, инвариантный к условиям съемки, масштабу, смещению и повороту объекта. Метод основан на векторном представлении изображения сцены и объекта поиска. Представлены модель построения паттерна объекта и алгоритм его распознавания. Построение паттерна и алгоритм распознавания используют подход, основанный на анализе свидетельств. Локализация сводится к проверке гипотезы о нахождении объекта на реальном изображении по наличию инвариантных элементов графического образа объекта. Описание образа создается в векторной форме после выполнения этапа векторизации растрового изображения. Переход к векторной форме обеспечивает инвариантность к условиям освещенности сцены. Инвариантность к масштабу и поворотам достигается использованием принципа углового подобия при накоплении свидетельств искомого графического образа. Число накопленных свидетельств может служить оценкой уровня достоверности задачи локализации. Приводятся результаты экспериментов для реальных изображений.

Инвариант, графический объект, сцена, локализация объектов, угловое подобие, векторизация изображений, накопление свидетельств

Значительный объем аэрокосмических данных представлен изображениями земной поверхности в виде плоских сцен с набором объектов интереса. В настоящее время темп поступления аэрокосмических данных существенно вырос, актуальна проблема автоматизации процессов анализа сцен. Ключевая технологическая задача связана с обнаружением известных объектов на неизвестной сцене. Множество объектов интереса, как правило, достаточно велико, поэтому актуальна задача развития объектно-независимых подходов к анализу изображений. Общая структура построенных в рамках таких подходов алгоритмов обработки изображений должна в основном абстрагироваться от частных особенностей подлежащих анализу зрительных образов и принимать во внимание только самые общие закономерности их формирования. В [1] на основе исследований сформулированы общие принципы и ограничения, которые должны быть положены в основу объектно-независимого структурного анализа изображений. К ним относятся:

1. Зрительная система человека и большинство систем компьютерного зрения, проецирующие изображения объектов на поверхность «матрицы» световоспринимающих датчиков. Эта поверхность плоская в большинстве систем компь-

ютерного зрения и локально-плоская в зрительной системе человека, поэтому для достаточно удаленных объектов можно использовать аффинную модель геометрических преобразований для локализации объектов.

2. Объекты окружающего мира, как правило, локально-жесткие. Локальное взаимное положение частей объектов не может существенно изменяться мгновенно, небольшая локальная нежесткость объектов приводит к небольшим локальным отклонениям взаимного геометрического преобразования их изображений, сопоставляемых во времени.

3. Наблюдаемый мир состоит из изображений поверхностей объектов, что обуславливает правила загоразживания и затенения наблюдаемых объектов.

4. Наблюдаемые поверхности объектов отличаются друг от друга спектральным составом и яркостью отраженного света (реже – излучаемого света), параметрами текстуры, дальностью, локальной пространственной ориентацией, параметрами движения относительно наблюдателя. Яркость, спектральный состав отраженного света и параметры наблюдаемой текстуры поверхностей могут существенно варьироваться под действием естественных изменений условий наблюдения.

Изменения спектрально-яркостных характеристик, обусловленные естественными изменениями наблюдаемых сцен, в общем случае могут быть заранее не известны или не могут быть компенсированы, что часто делает неэффективным применение известных интегральных методов измерения параметров. В то же время наиболее устойчивыми и поэтому наиболее информативными в условиях действия таких изменений остаются наблюдаемые границы объектов, связанные обычно с резкими перепадами значений перечисленных спектрально-яркостных, текстурных и т. п. признаков, характеризующих их поверхности [2]. Традиционным методом отображения пространственного положения и формы границы объекта является построение контура.

К перечисленным принципам следует добавить необходимость максимального усиления достоверности распознавания за счет накопления свидетельств в пользу принадлежности наблюдаемого объекта к его модельному представлению [3]. Метод анализа свидетельств основан на теоретико-вероятностном подходе, при котором обнаружение объекта сводится к проверке гипотезы о нахождении объекта на реальном изображении. При этом каждая обнаруженная особенность данного изображения (характерная черта) рассматривается как событие, свидетельствующее в пользу гипотезы о наличии характеристик искомого объекта.

Особенностью процесса анализа аэрокосмических изображений является широкий разброс характеристик, условий освещенности, местоположения и размеров искомых объектов и вариативности сцен. В связи с этим алгоритмы обнаружения объектов должны обладать свойствами инвариантности к вышеперечисленным характеристикам. На уровне формального описания задача локализации объектов рассматривается как задача выделения на реальных изображениях геометрических образов, удовлетворяющих некоторой заданной модели M , вне зависимости от конкретных условий регистрации S в обстановке наличия помех R , с учетом обеспечения заданного уровня достоверности J при заданных ограничениях на ресурсы цифровой вычислительной системы.

В настоящей статье описывается метод локализации графических объектов растровых изображений, обладающий инвариантностью к условиям освещенности, смещению, повороту и масштабированию изображений объектов на плоской сцене. Объект сцены локализуется координатами

центра прямоугольного фрагмента, содержащего объект, и размерами фрагмента в текущей сцене. Алгоритм основан на использовании векторного описания сцен и контурного образа искомого объекта. Благодаря векторизации обеспечивается инвариантность поискового алгоритма к условиям освещенности объекта и робастность к возможным искажениям исходного растрового изображения. Алгоритмы векторизации достаточно хорошо разработаны [3] и в данной статье не рассматриваются.

Для различных сцен наборы векторов одного и того же объекта как правило не совпадают, поскольку от сцены к сцене изменяется размещение объектов. Однако при любом размещении объекта на плоской сцене сохраняются угловые соотношения между его векторами. Это обстоятельство можно использовать для разработки инвариантного метода локализации графических объектов. Предлагаемый метод определяет правила построения паттерна объекта и алгоритм его обнаружения. По идеологии алгоритм близок к методам локализации сложных фигур на основе обобщенной аккумулирующей плоскости Хафа. Принципиальные отличия нового метода от существующих связаны со способом формирования накапливающих свидетельств. Обобщенный метод Хафа [3] весьма чувствителен к точности восстановления контура объекта, причем увеличение точности восстановления и связанное с этим увеличение числа контурных точек приводит к резкому росту вычислительных затрат, что ограничивает применение этого метода на практике. В предложенном методе свидетельствами являются подобные треугольники с общей вершиной, удаленными вершинами для которых являются точки пересечения направляющих линий векторов объекта. Найденные векторы не обязаны покрывать весь контур объекта, метод устойчиво работает начиная с десятка обнаруженных векторов в общем положении.

Создание паттерна. Паттерн – это набор модельных характеристик, используемых для локализации объекта при заданных условиях наблюдения. При создании паттерна для инвариантной локализации объектов сцены предлагается использовать следующие модели:

- модель векторизации;
- модель углового спектра;
- модель угловых точек;
- модель накапливающих лучей;
- модель хордовых линий.

Векторизация. Для генерации паттерна используется фрагмент растрового изображения, выделяющий объект интереса (рис. 1).

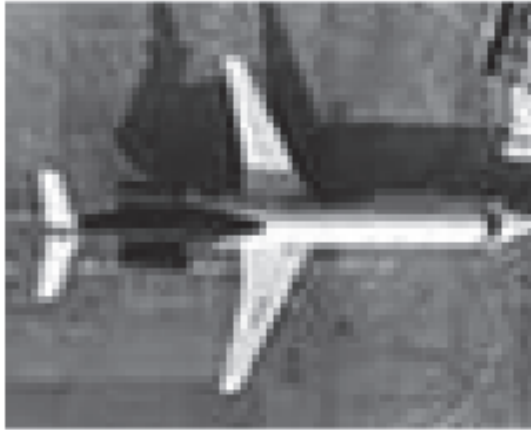


Рис. 1

Процесс векторизации включает в себя выделение границ объектов, переход к бинарному образу граничных линий с последующим их представлением набором прямолинейных отрезков линий – линеаментов (рис. 2).

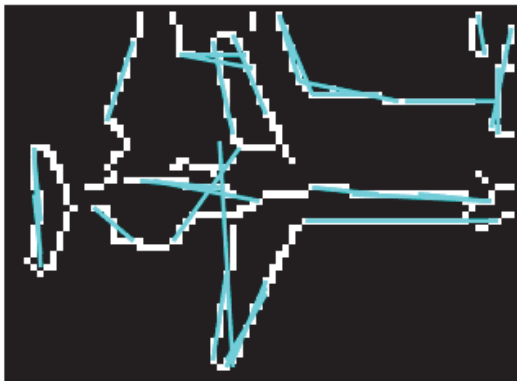


Рис. 2

Линеамент характеризуется углом наклона $\alpha_i \in [-\pi/2, \pi/2]$ к положительному направлению оси абсцисс. В экспериментах для выделения граней использовался метод Canny [4], а для построения линеаментов – классическое преобразование Хафа для линий. Следует отметить, что преобразование Хафа для объекта сцены зависит от масштаба изображения и содержания сцены. Для уменьшения этого эффекта преобразование выполнялось пофрагментно с фиксированным размером области (30×30 пикселей), затем векторные описания фрагментов сшивались между собой, при этом короткие линеаменты отбрасывались.

Угловой спектр паттерна. Угловым спектром $\Omega = \{\omega_{ij}\}$ определяется набор углов между парами линеаментов объекта. Для модели угло-

го спектра углы между линеаментом определяются выражениями $\omega_{ij} = |\alpha_i - \alpha_j|$. Это значение назовем угловым детектором. В общем случае число угловых детекторов равно числу сочетаний C_N^2 , где N – число векторов. Однако, исходя из требований точности вычислений, угловые детекторы с малыми углами отбрасываются. В экспериментах для прореживания углового спектра использовалось пороговое значение $\pi/6$.

Угловые точки паттерна. Для каждой пары линеаментов модели углового спектра определим угловую точку как место пересечения их направляющих линий. Терминальная точка линеаментов, ближайшая к угловой точке, будет считаться началом вектора, а наиболее удаленная – его концом (рис. 3).

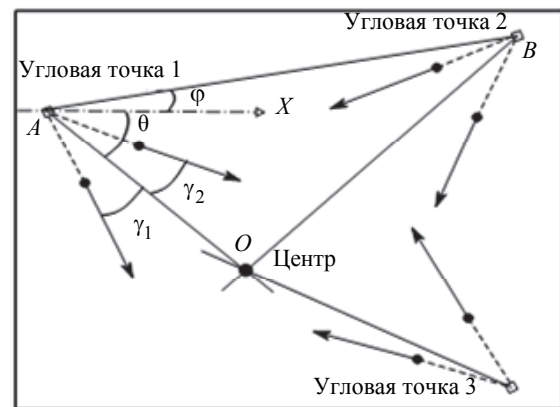


Рис. 3

Конфигурация множества угловых точек является гомоморфным отображением формы объекта, а их взаимное расположение инвариантно к масштабу, повороту и линейному перемещению объекта.

Накапливающие лучи. Выделим некоторую условную точку локализации O объекта. Выбор точки локализации неоднозначен, но в общем случае можно ожидать, что положение точки в центре прямоугольного фрагмента, содержащего объект, минимизирует ошибки вычислений. Из всех угловых точек модели проведем лучи, проходящие через центр фрагмента (рис. 3). Луч характеризуется углом наклона $\theta \in [-\pi, +\pi]$ к положительному направлению оси X . Направление луча относительно векторов угловой точки определяется парой углов $\gamma_1 = \alpha_1 - \theta$, $\gamma_2 = \alpha_2 - \theta$. Каждому лучу присвоим единичную яркость. Будем полагать, что в точках пересечения лучей яркости складываются. Очевидно, что наиболее яркой будет точка в центре фрагмента. Степень яркости точки пересечения

чения будет характеризовать уровень эффективности построенного паттерна. Эффективность будет тем выше, чем больше найдено угловых точек.

Хордовые линии. Соединим все пары угловых точек линейными стягивающими хордами (на рис. 3 отрезок AB). Хорда характеризуется углом наклона $\varphi \in [-\pi, +\pi]$ к положительному направлению оси абсцисс. По отношению к линиям лучей угловое положение хорды можно задать парой углов $\beta_1 = \theta_1 - \varphi$ и $\beta_2 = \theta_2 - \varphi$. Стягивающая хорда и центральные лучи образуют треугольник, вершинами которого являются пара угловых точек и центральная точка O . При линейных перемещениях и повороте объекта конгломерат треугольников с общей вершиной O не меняется, а при масштабировании объекта сохраняется подобие конгломератов. Следовательно, построенные треугольники можно использовать как накапливаемые свидетельства в задаче обнаружения объекта. В предлагаемом методе локализации подобие треугольников конгломератов паттерна и объекта проверяется через угловые соотношения.

Распознавание паттерна. Процедура распознавания представляет собой последовательное применение угловых детекторов паттерна к набору векторов сцены.

Этап 1. Поиск парных сочетаний векторов сцены, удовлетворяющих угловому спектру $\Omega = \{\omega_{ij}\}$. Поиск осуществляется с заданной угловой погрешностью ($\delta = 1...3^\circ$). Найденные пары векторов являются кандидатами на принадлежность к паттерну. С каждым угловым детектором ω_{ij} в паттерне связан луч, идущий из угловой точки в точку локализации объекта. Для луча известен угол θ относительно положительного направления оси абсцисс. Известны также углы γ_1 и γ_2 , определяющие положения луча относительно пары векторов. Поиск является переборной операцией, поэтому данный этап наиболее длительный. Для уменьшения времени поиска можно использовать имеющуюся априорную информацию об искомом объекте и его возможных размерах и масштабах. В этом случае поиск осуществляется по принципу «скользящего окна», что существенно сокращает время поиска.

Этап 2. Для каждой найденной пары векторов определяются координаты угловой точки и

вычисляются фактические углы α_1, α_2 . Эти углы с точностью δ сравниваются с аналогичными углами, полученными из соотношений $\alpha_1 = \gamma_1 + \theta$ и $\alpha_2 = \gamma_2 + \theta$ для паттерна. В результате выделяются пары векторов и соответствующие лучи, для которых наблюдается совпадение по углам. Для выделенных лучей фиксируется: номер углового детектора, координаты угловой точки, угол исходящего луча θ и порядковые номера векторов, образующих угловую точку.

Этап 3. Для каждой пары угловых точек выделенных лучей вычисляется угол наклона сегмента φ и фактические углы $\beta_1 = \theta_1 - \varphi$, $\beta_2 = \theta_2 - \varphi$. Эти углы с точностью δ сравниваются с аналогичными углами паттерна. При совпадении углов лучи считаются истинными. Для истинных лучей определяются точки пересечения с истинными лучами, которые были накоплены ранее. Точки пересечения лучей накапливаются. Накапливаются также истинные лучи.

Этап 4. После завершения этапа 3 координаты точек пересечения округляются с точностью до одного пикселя. Лучу в накопительной плоскости присваивается единичная яркость. Яркости точек пересечения лучей складываются. При корректном распознавании паттерна точка с максимальной яркостью, очевидно, будет соответствовать точке локализации объекта. Достоверность полученного решения можно оценить, сравнивая яркость найденной точки локализации с яркостью аналогичной точки паттерна.

Ограничивающий прямоугольник. Заключительный этап локализации объекта связан с построением для него минимального ограничивающего прямоугольника со сторонами, параллельными осям координат. Построение заключается в определении координат терминальных точек найденных векторов объекта и наиболее удаленных от его точки локализации.

Порядковые номера векторов, образующих угловые точки и предположительно принадлежащих объекту, содержатся в описании истинных лучей. Проверка векторов на принадлежность к объекту заключается в вычислении фактического угла наклона направляющей линии каждого луча. Это можно сделать, зная координаты угловой точки и точки локализации объекта, найденной при распознавании паттерна.

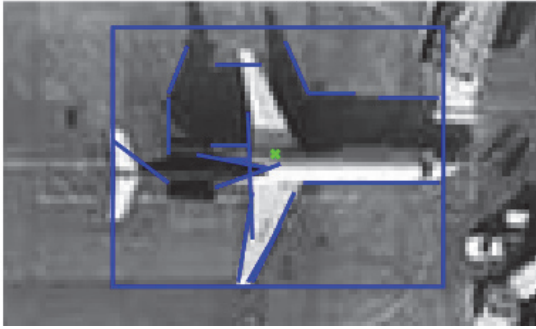


Рис. 4

Фактический угол с точностью δ сравнивается с аналогичным углом паттерна, сохраненным в описании луча при его создании. При совпадении значений пара векторов, образующая угловую точку луча, считается достоверной. Для множества достоверных векторов находятся минимальные и максимальные значения координат терминальных точек. Окончательно, полученные координаты прямоугольника симметризируются относительно точки локализации объекта. На рис. 4 представлены результаты локализации объекта сцены.

Предложенный метод инвариантной локализации объектов сцен содержит фазы обучения и распознавания. На фазе обучения создается модельный паттерн, а на фазе распознавания решается задача локализации объекта.

Метод углового подобия устойчив к частичной потере элементов векторного описания, позволяет определить точку локализации объекта и координаты ограничивающего прямоугольника с оценкой степени достоверности решения. Вычислительная эффективность достигается благодаря тому, что в аккумулирующей плоскости пересекаются только истинные лучи, прошедшие процедуру предварительной селекции. Результаты экс-

периментов на реальных изображениях подтверждают эффективность предложенного метода.

В описываемом методе при определении подобных треугольников используется признак подобия по двум углам, но очевидно, что возможна модификация метода при использовании признаков подобия по углу и двум образующим сторонам или по трем сторонам треугольников. В последних случаях можно одновременно с локализацией оценить масштаб обнаруженного объекта.

Рассматривая практические приложения данного метода, необходимо, прежде всего, отметить, что в отличие от общих вероятностных, информационных, алгебраических, нейросетевых и т. п. подходов описанный метод, основанный на анализе свидетельств подобия, имеет четко очерченную область применения в задачах обнаружения и локализации сложных структурных объектов на цифровых изображениях. В качестве исходных данных предполагается наличие геометрической модели двумерного образа искомого объекта, исходя из которой метод позволяет порождать инвариантные геометрические модели подлежащих обнаружению характерных черт и устанавливать их геометрическую связь с параметрами модели объекта для последующей локализации и идентификации объекта на изображении. При этом о содержательной геометрической модели объекта можно говорить только в том случае, если существует определенная неоднородность внутри самого изображения объекта, которая позволяет выделить внутри него некоторые характерные черты, а затем выявить их пространственные отношения, служащие основой для локализации объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луцив В. Р. Объектно-независимый подход к структурному анализу изображений // Опт. журн. 2008. Т. 75, № 11. С. 26–33.
2. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов / пер. с англ. М.: Радио и связь, 1987. 400 с.
3. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. Курс лекций и практических за-

- нятий / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов, А. В. Бондаренко, М. В. Осоков, А. В. Моржин. М.: Физматкнига, 2010. 672 с.

4. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. PAMI-8, № 6. P. 679–698.

A. Yu. Dorogov

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

LOCALIZATION OF GRAPHICAL OBJECTS IN RASTER IMAGE BY MEANS OF ANGULAR PATTERN SIMILARITY

The proposed localization method for graphical objects of scene image is invariant to the illuminance conditions, scale, offset and rotation of the objects. The method is based on a vector representation of scene image and searched object. Model for building of object pattern and algorithm of its recognition are represented. Pattern creation and recognition algorithm use the approach based on the analysis of evidences. Localization reduces to the verification of hypotheses about object location on real image by means of presence of invariant elements of the graphical image of the object. The image description is created in a vector form after the raster image vectorization step is completed. The transition to a vector form provides invariance to scene illumination conditions. Invariance to scale and turns is achieved by using the principle of angular similarity with the accumulation of evidences of the desired graphic image. The number of accumulated evidences can serve as an estimation of the level of result reliability of the localization problem. The paper presents experimental results for real images.

Invariant, graphical object, scene image, localization, angular similarity, vectorization of images, accumulation of evidences

УДК 744.4

В. П. Большаков

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

А. В. Чагина

Санкт-Петербургский национальный исследовательский
университет информационных технологий, механики и оптики

Тестирование по основам геометрического моделирования в системе КОМПАС-3D

При изучении инженерной компьютерной графики (ИКГ) используются CAD-системы (Computer Aided Design – конструирование, поддержанное компьютером) и методики подготовки конструкторской документации изделий на основе трехмерного (3D) моделирования этих изделий. Результативность освоения основ 3D-моделирования можно повысить используя при обучении тестовые задания. Рассмотрены 4 тестовых задания по выявлению уровня знаний и умений при создании твердотельных моделей деталей и простых сборок. Содержание заданий опирается на анализ этапов твердотельного моделирования, в рамках которых начинающие пользователи допускают максимальное число ошибочных или далеких от оптимальных действий. Показаны примеры реализации с помощью конструктора обучающих курсов Eduardo тестов для оценивания рациональности: построения параметрических эскизов, создания и редактирования 3D-моделей деталей, моделирования двухкомпонентных сборочных единиц.

**Тест педагогический, изображение, твердотельное моделирование, инженерная
и компьютерная графика, КОМПАС-3D, Конструктор Eduardo**

В последние годы в области автоматизированного проектирования изделий произошел переход от двумерного конструирования к трехмерному (3D) моделированию. В комплексе мер, которые могут приблизить подготовку студентов (в рамках курса ИКГ) к уровню развития современных CAD-систем, можно выделить использование тестовых заданий по основам 3D-моделирования [1], [2].

Как известно, педагогический тест – это инструмент оценивания обученности учащихся, состоящий из системы тестовых заданий, упорядоченных процедур обработки и анализа результатов.

1. На рис. 1 показано тестовое задание, направленное на формирование умений рационального построения эскизов. Эскиз – плоская