МЕТОД РАЗМЕТКИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЗАДАННОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Л.М. Местецкий¹, А.Б. Семенов²

¹ Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва

² Тверской государственный университет, г. Тверь

MestLM@mail.ru, Semenov.AB@tversu.ru

Аннотация. В статье рассматривается задача подготовки обучающей выборки для алгоритмов сегментации и классификации объектов заданной формы на аэрокосмических снимках. Предлагаемый подход основан на построении набора шаблонных векторных описаний объектов интереса. Непосредственная разметка снимков осуществляется оператором путем подгонки шаблонов к изображениям объектов. В качестве иллюстрации работы метода рассмотрена задача классификации самолетов на аэрокосмических снимках.

Ключевые слова: разметка изображений, сегментация, векторный шаблон, подгонка изображения

Введение

Задача дешифрирования аэрокосмических снимков состоит в поиске объектов интереса на фотографиях большого размера, определении положения и класса обнаруженных объектов. В ряде случаев форма искомым объектам хорошо известна и задача сводится к поиску этой формы на изображениях большого размера. Поскольку обработке подлежат большие объемы видеoinформации, производимой современными системами наблюдения, а «ручное» дешифрирование требует больших трудозатрат, актуальной задачей является автоматизация этого процесса. Современные подходы к решению возникающих при этом задач широко используют машинное обучение, в частности, для поиска и классификации объектов используется аппарат нейронных сетей. Обучение алгоритмов состоит в настройке их параметров на основе базы «прецедентов», аккумулирующей человеческий опыт выделения и классификации объектов интереса. База прецедентов представляет собой специально подготовленный набор аэрокосмических снимков, на которых человеком выделены объекты интереса. Процесс подготовки такого набора называется разметкой изображений, а человек-оператор, осуществляющий разметку образцов, называется ассессором. Изображения, на которых ассессором выделены объекты интереса, называются размеченными.

Таким образом, база размеченных аэрокосмических снимков для обучения алгоритмов дешифрирования содержит кроме самих изображений ещё информацию об объектах интереса, внесённую ассессором в процессе разметки. Вследствие большого разнообразия объектов интереса, окружающих их ланд-

шафтов, а также условий съёмки такие обучающие наборы изображений получаются очень большими, а их подготовка требует существенных трудозатрат.

Задача разметки актуальна для многих приложений. В частности это относится к поиску и определению типа самолетов, наблюдаемых на аэрокосмических снимках (рис.1) [1,2,4,5]. Количество типов самолетов достаточно велико, до сотни наименований, их вид на изображениях изменяется в очень широких пределах в зависимости от окружающего фона и освещенности, но опытный оператор-дешифровщик весьма уверенно может классифицировать найденные объекты по их форме. Однако после этого он должен в явном виде отметить (закрасить) все пиксели, принадлежащие объекту (рис.2). Это можно сделать с помощью инструментов графического редактора «Перо», «Заливка», «Кисть». Аккуратное выполнение этих операций вручную требует большой тщательности и занимает много времени. При массовой обработке большого числа изображений такая рутинная работа требует значительных трудозатрат и чревата ошибками, которые приводят к низкой точности разметки. Появление ошибок объективно обусловлено слабой контрастностью, а также малыми размерами объектов при низком разрешении снимков. Поэтому разметка изображений с помощью графических инструментов оказывается весьма неэффективной, приводит к ошибкам и неприемлемо большим затратам труда и времени. Значительные вариации контрастности изображений, в том числе на одном и том же снимке, не позволяют использовать для решения задачи метод активных контуров [2]. Таким образом, разработка методов разметки, обеспечивающих приемлемую точность, а также высокую скорость этого процесса является актуальной задачей.

Рис. 1. Примеры изображений самолетов на аэрокосмических снимках

Рис. 2. Фрагменты исходных аэрокосмических снимков (верхний ряд) и размеченные изображения объектов (нижний ряд).

Предлагаемый подход к автоматизации разметки аэрокосмических снимков основан на особых свойствах задачи в тех случаях, когда необходимо выделить объекты заранее заданной формы. Примером служит задача распознавания самолетов. В этом случае можно заранее подготовить набор шаблонов,

описывающих объекты, а разметку осуществить путём подгонки шаблонов к объектам на изображении. Для реализации этого подхода требуется разработать инструменты ассессора для построения эталонных векторных шаблонов и для подгонки шаблонов к изображениям объектов.

Метод разметки на основе векторных шаблонов

Идея предлагаемого решения состоит в использовании для разметки предварительно подготовленных эталонных описаний формы объектов в векторном формате на основе рекламной и инженерной документации. Выделение объектов на аэрокосмических снимках в процессе разметки сводится к выбору оператором подходящего эталона и размещению его поверх найденного объекта. Точное размещение, называемое подгонкой эталона, осуществляется с помощью разработанной специализированной программы-редактора.

Главным преимуществом подгонки готового векторного эталона является возможность правильной сегментации в тех случаях, когда граница объекта видна лишь частично, а значительная её часть плохо просматривается из-за слабой контрастности снимка. В этом случае видимой части границы оказывается достаточно для правильной подгонки. Другим важным достоинством векторного описания является простота преобразования формы при подгонке. Кроме того, подгонка векторного контура к растровому изображению не требует больших трудозатрат, но при этом дает возможность выделить и закрасить сразу все пиксели, относящиеся к объекту интереса.

Предлагаемая технология разметки включает два этапа: подготовку базы векторных эталонов по всем типам объектов и непосредственную работу по разметке изображений с использованием этой базы эталонов.

Первый этап – подготовка базы эталонов – осуществляется на основе высококачественных изображений объектов, полученных либо по фотографиям с высоким разрешением, либо из описаний в технической документации.

На рис.3а приведены примеры таких изображений, полученные из технической документации, находящейся в свободном доступе в интернете. На основе этих описаний могут быть получены силуэты объектов в виде растровых бинарных изображений высокого разрешения (рис.3б), отражающих все существенные особенности формы объекта. В данном примере растровые изображения имеют размеры 600×700 пикселей. При этом не требуется их растеризация в едином масштабе, каждая модель представляется в том масштабе, который позволяет воспроизвести все существенные элементы формы. Построение растровых силуэтных моделей по чертежам осуществляется в графическом редакторе и не составляет большого труда. Далее на основе полученного растрового описания силуэта объекта создается контурная модель формы в виде многоугольника

(рис.3в). Контурное описание маркируется указателем типа объекта и помещается в базу эталонов.

Второй этап – разметка аэрокосмических снимков (тестовых изображений) – выполняется ассессором с использованием подготовленной базы векторных описаний эталонов. Разметка выполняется с помощью программы, обеспечивающей решение следующих задач:

- визуальный анализ исходного аэрокосмического снимка. Ассессор находит на снимке объекты интереса и далее использует предлагаемые инструменты для разметки этих объектов (размечает рамкой для детектирования);
- выбор подходящего эталонного образца, соответствующего объекту на исходном изображении. Выбор осуществляется ассессором на основе собственного опыта либо перебором наиболее похожих эталонов. Эталонные образцы описываются в виде многоугольников, аппроксимирующих границы силуэтов объектов, и хранятся в архиве системы;
- точная подгонка эталонного образца к исходному изображению. Для подгонки используются операции перемещения, вращения и масштабирования контура (изменение размера эталонного образца). Векторная форма представления контуров обеспечивает высокую эффективность и точность процесса подгонки;
- фиксация результата подгонки состоит в запоминании найденного преобразования векторного описания объекта, обеспечивающего наилучшее совпадение с тестовым изображением. Качество совпадения легко оценивается визуально;
- создание бинарной картинке того же размера, что тестовое изображение, на которой найденное положение эталона представлено черным цветом на белом фоне. Полученное бинарное изображение размещается вместе с тестовым изображением в базе размеченных снимков как результат разметки.

Построение контурных эталонных моделей объектов

Описанная выше процедура оперирует с эталонными контурными описаниями объектов, которые должны быть получены и собраны в базе эталонов. Для построения контурной модели предлагается использовать алгоритм, описанный в [3]. Входом алгоритма является растровое бинарное изображение, выходом – описание контура границы объекта в виде многоугольника. Пример на рис.4 иллюстрирует идею, лежащую в основе алгоритма. Для наглядности визуализации растровое изображение объекта из рис.3 представлено в более низком разрешении, не 600×700, а 60×70 (рис.4а).

Алгоритм построения контурной модели в виде разделяющего многоугольника минимального периметра, включая прослеживание и аппроксимацию границы, имеет вычислительную сложность, где –

количество пикселей в бинарной картинке. Полученные многоугольники, описывающие контура границ для изображений высокого разрешения, представленных на рис.3, имеют от 170 до 320 вершин.

(а) чертежи самолетов из технической документации

(б) растровые бинарные изображения силуэтов самолетов в высоком разрешении

(в) векторные описания силуэтов самолетов в виде многоугольников

Рис. 3. Получение эталонных шаблонов самолетов, представленных на рис. 2

(а) (б) (в) (г)

Рис. 4: Построение контурной модели объекта:

(а) – растровое бинарное изображение, (б) – след трассировки границы, (в) – граничный коридор, (г) – аппроксимирующий многоугольник минимального периметра.

Подгонка контурных моделей

Подготовленные эталонные векторные описания объектов далее используются в процессе разметки аэрокосмических снимков. Разметка осуществляется ассессором путем выбора нужного шаблона из набора эталонов и подгонки его к наблюдаемому на снимке объекту. Суть процесса подгонки состоит в наложении векторного описания эталона на аэрокосмический снимок и преобразовании контура с целью совмещения его с объектом на снимке. Векторное описание шаблона позволяет быстро, точно и эффективно решить эту задачу. Алгоритмы, используемые ассессором для подгонки, должны обеспечить преобразование векторной модели в соответствии с образом объекта на тестовом изображении. Для поддержки этого преобразования разработан графический редактор, обеспечивающий выполнение нескольких простых операций над векторными контурами:

- наложение контурной модели поверх растрового изображения аэрокосмического снимка либо его выделенного фрагмента;
- сдвиг, поворот и масштабирование контурной модели в ручном режиме с адекватной визуализацией;
- растеризация выбранного оператором положения векторного шаблона на растровом фрагменте аэрокосмического снимка.

Пример работы редактора представлен на рис.5. Для выделенного на аэрокосмическом снимке объекта (рис.5а) ассессор находит в базе эталонов соответствующий образец контура (рис.5б) и укладывает его поверх снимка. Далее выполняются операции по подгонке контура (рис.5в) и финальная операция растеризации (рис.5г). Полученный результат вместе с исходной картинкой (рис.5а) помещается в базу размеченных изображений.

Рис. 5. Подгонка векторного шаблона: (а) – объект на аэрокосмическом снимке, (б) – эталонное векторное представление контура самолета многоугольником, (в) – совмещение контура с объектом в результате сдвига, поворота и сжатия, (г) – растеризация найденного положения контура.

Вычислительные эксперименты

Для разметки аэрокосмических изображений, содержащих авиационную технику, было разработано автоматизированное программное решение, которое включает в себя два функциональных модуля:

- модуль подготовки эталонных изображений;
- модуль подгонки эталонов к тестовым изображениям.

Качество размеченных данных и время, которое тратится на обработку одного изображения, являются основными показателями при работе ассессора. Под качеством понимается пиксельная точность совмещения (подгонки) векторного контура с растровым образом.

Ниже представлен перечень основных возможностей графического инструмента ассессора:

- загрузка списка всех доступных типов авиационной техники;
- навигация по списку типов авиационной техники с целью выбора нужного контурного эталона;
- загрузка аэрокосмических изображений, подлежащих разметке, работа по разметке каждого отдельного снимка (подгонка эталона);

- сохранение размеченных изображений в виде фрагментов исходных аэрокосмических снимков и бинарных масок с выделенными объектами.

Оценка качества и эффективности предложенного подхода выполнялась в ходе вычислительного эксперимента по разметке массива аэрокосмических изображений. В эксперименте было размечено 2909 изображений, представляющих собой фрагменты больших снимков. Фрагменты выделены ассессором на основе визуального детектирования. В каждом фрагменте содержится один самолет. Для сравнения скорости работы ассессора проводилось измерение времени, затрачиваемого оператором при использовании двух вариантов сегментации: на основе подгонки с помощью векторных шаблонов (метод «подгонка») и на основе ручной обводки границ объектов путем последовательного ввода границы «точка за точкой» (метод «оконтуривание»). Как видно из таблицы, затраты времени ассессора при работе методом подгонки в 4 раза меньше, чем при ручном выделении границ каждого объекта.

Метод	Число образцов	Общее время	Время на образец
подгонка	100	12 мин	7.2 сек
оконтуривание	9	4 мин	26.7 сек

Кроме выигрыша во времени работы метод автоматической подгонки обеспечивает более высокую точность разметки. В тех случаях, когда размечается снимок высокого качества, оператор хорошо видит всю границу объекта и имеет возможность достаточно точно построить аппроксимирующую линию методом оконтуривания. Но таких изображений, как правило, не очень много. На большей части изображений граница объекта хорошо видна лишь частично, а значительная её часть теряется при визуальном анализе из-за сложных условий освещенности или за счет слабого контраста. В этой ситуации при ручной проводке границы возникают значительные ошибки. В то же время, для качественной подгонки готового контура вполне достаточно той части границы объекта, которая хорошо видна. В результате точность разметки при использовании метода подгонки оказывается существенно выше.

Полученный массив размеченных аэрокосмических изображений был использован для обучения нейронной сети, выполняющей автоматическую сегментацию изображений. О высоком качестве обучения свидетельствует эксперимент по использованию полученных сегментированных изображений для классификации типов самолетов. Полученная

с помощью обучающей нейронной сети сегментация 346 изображений самолетов 34 типов стала основой для практически безошибочного определения типа с помощью классификатора, основанного на граничном анализе формы объектов.

Заключение

Предложенный метод разметки изображений на аэрокосмических снимках предназначен для выделения объектов, форма которых заранее известна. Метод включает два элемента: подготовку высокоточных контурных векторных моделей объектов по имеющейся технической документации и выделение ассессором объектов на снимках путем подгонки этих моделей. Для реализации метода предложены алгоритм кусочно-линейной аппроксимации границы эталонных объектов и алгоритм преобразования эталонных контурных описаний с целью подгонки их к изображениям объектов на снимках. Разработанные алгоритмы реализованы и протестированы на практической задаче классификации самолетов на аэрокосмических снимках. Показано, что предложенный метод обеспечивает наилучшую точность разметки и даёт существенную экономию времени ассессора на разметку изображений по сравнению с ручным выделением объектов на изображении.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант 17-01-00917.

Список литературы

1. *Vaijayanthi S., Vanitha N.* Aircraft Identification in High Resolution Remote Sensing Images using Shape Analysis. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 3 (11), 2015, p.11203–11209.
2. *Wang W., Nie T., Fu T., Ren J., and Jin L.* A Novel Method of Aircraft Detection Based on High-Resolution Panchromatic Optical Remote Sensing Images. *Sensors (Basel)*. 2017 May 6; 17(5). pii: E1047. doi: 10.3390/s17051047.
3. *Местецкий Л.М.* Непрерывная морфология бинарных изображений. Москва, Физматлит, 2009.
4. *Wu Q., Sun H., Sun X., Zhang D., Fu K., Wang H.* Aircraft Recognition in High-Resolution Optical Satellite Remote Sensing Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 12 (1), 2015, p. 112–116.
5. *Блохинов Ю.Б., Горбачев В.А., Ракутин Ю.О., Никитин А.Д.* Разработка алгоритма семантической сегментации аэрофотоснимков реального времени. *Компьютерная оптика*, 2018, том 42, №1. С. 141–148.

METHOD OF MARKING AEROSPACE IMAGES FOR THE SEGMENTATION OF OBJECTS OF KNOWN SHAPE ON A BASIS OF MACHINE LEARNING

L.M. Mestetskiy¹, A.B.Semenov²

¹ Lomonosov Moscow State University

² Tver State University

MestLM@mail.ru, Semenov.AB@tversu.ru

Abstract The article deals with the task of preparing a training sample for algorithms for segmenting and classifying objects of a given form on aerospace photographs. The proposed approach is based on the construction of a set of template vector descriptions of objects of interest. Direct marking of images is carried out by the operator by fitting templates to images of objects. As an illustration of the method, the problem of aircraft classification in aerospace images is considered.

Keywords: image marking, segmentation, vector template, image fitting

References

1. *Vaijayanthi S., Vanitha N.* Aircraft Identification in High Resolution Remote Sensing Images using Shape Analysis. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 3 (11), 2015, p.11203–11209.
2. *Wang W., Nie T., Fu T., Ren J., and Jin L.* A Novel Method of Aircraft Detection Based on High-Resolution Panchromatic Optical Remote Sensing Images. *Sensors (Basel)*. 2017 May 6; 17(5). pii: E1047. doi: 10.3390/s17051047.
3. *Mestetskiy L.M.* Continuous morphology of binary images. Moscow, Fizmatlit, 2009. (In Russian)
4. *Wu Q., Sun H., Sun X., Zhang D., Fu K., Wang H.* Aircraft Recognition in High-Resolution Optical Satellite Remote Sensing Images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 12 (1), 2015, p. 112–116.
5. *Blokhinov YB, Gorbachev VA, Rakutin YO, Nikitin AD.* A real-time semantic segmentation algorithm for aerial imagery. *Computer Optics* 2018; 42(1): 141–148. DOI:10.18287/2412–6179-2018–42-1–141-148. (In Russian)