

УДК 004.942+004.93'1

К.С. Смеляков

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СЕГМЕНТАЦИИ

Для обеспечения устойчивости функционирования современных систем технического зрения в работе решается задача построения системной модели цифрового изображения, в рамках которой учитывались бы все основные особенности получения цифровых снимков, которые оказывают непосредственное влияние на решение задач сегментации и распознавания изображений.

Ключевые слова: система технического зрения, цифровое изображение, модель, дискретизация, квантование.

Постановка проблемы

В настоящее время сфера применения разноплановых систем технического зрения является чрезвычайно широкой в связи с возможностями получения высококачественных цифровых фотографий и их анализа на ЭВМ в реальном масштабе времени. Фактически, во многих приложениях связанных с анализом изображений, системы технического зрения уже не просто дополняют, но и заменяют человека. Уровень использования специализированных систем технического зрения является одним из наиболее ярких и наглядных интегральных показателей степени развития современных инновационных технологий в самых различных областях человеческой деятельности [1 – 5].

Важной составляющей любой системы технического зрения является подсистема сегментации изображений. Сегментация изображений представляет собой одну из самых сложных задач обработки изображений, поскольку суть любой сегментации состоит в том, чтобы сгруппировать отдельные пиксели входного изображения в области, отвечающие изображениям искомым объектам, с использованием сложно формализуемых критериев в переменных условиях получения исходных данных по освещению, масштабу, зашумлению и иным параметрам. При этом успех последующих процедур распознавания и прикладного анализа объектов по их изображениям определяется именно качеством сегментации. Одним из важнейших факторов успешного решения задачи сегментации является всесторонний учет особенностей получаемых цифровых изображений на этапе моделирования.

В этом отношении важнейшей является задача построения модели цифрового изображения, в рамках которой системно учитывались бы все основные особенности получения цифровых снимков, которые оказывают непосредственное влияние на решение задач сегментации и распознавания изображений.

Построение модели цифрового изображения

Исходные данные для решения задач сегментации и распознавания предоставляются в виде цифрового изображения, представляющего собой плоское отображение некоторой совокупности объектов (сцены) поля зрения; такое изображение, как правило, называют входным изображением.

Оцифровка изображения. Процесс получения цифрового изображения состоит в том, чтобы имеющееся аналоговое изображение рассматриваемой сцены поля зрения, или соответствующее ему распределение излучения на регистрирующем элементе, подвергнуть операциям пространственной дискретизации и энергетического квантования по уровням яркости. При помощи стандартных устройств оцифровки видеoinформации можно получить черно-белое (бинарное), полутоновое или цветное изображение.

При относительно небольшом числе уровней яркости на квантованном изображении появляются ложные контуры. Они возникают вследствие скачкообразного изменения яркости квантованного изображения и особенно заметны на пологих участках ее изменения. Поэтому при равномерном квантовании изображений требуется не менее 64 уровней [6]. В этом отношении будем ориентироваться на наиболее используемую в настоящее время 256 градационную шкалу яркости [0, 255].

В результате оцифровки, таким образом, получаем цифровое изображение, представляемое на ЭВМ в виде матрицы значений яркости $F = \{f_{ij}\}_{ij}$.

С математической точки зрения входное изображение задается матрицей F на области входного изображения D , которая представляется совокупностью узлов $D = \{d_{ij} = (i, j)\}$, $i = 0, n$, $j = 0, m$, образованных точками пересечения прямоугольной решетки L на плоскости R^2 , $L \in R^2$, образующие

которой параллельны осям координат xOy . В теории обработки цифровых изображений узлы d_{ij} принято называть пикселями (рис. 1).

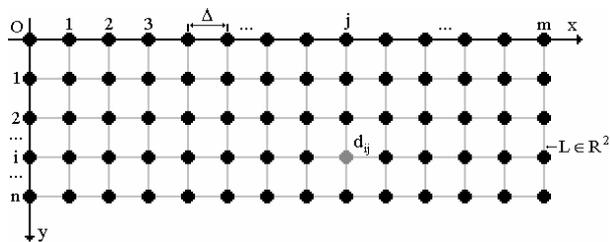


Рис. 1. Дискретное поле цифрового изображения D , погруженное в пространство R^2

Исходя из способа получения цифрового изображения, область изображения D должна рассматриваться, как погруженная в пространство R^2 с евклидовой метрикой вида:

$$\rho(d_{ij}, d_{\xi\eta}) = \sqrt{(i-\xi)^2 + (j-\eta)^2},$$

где ρ – функция расстояния между пикселями d_{ij} и $d_{\xi\eta}$ с координатами (i, j) и (ξ, η) , соответственно. При этом, поскольку топология и геометрия дискретного пространства D отлична от случая плоскости R^2 , понятие окрестности пикселя необходимое нам для целей последующего использования определим следующим образом. Пусть $\varepsilon > 0$ – действительное число и $d_{ij} \in D$. Назовем множество $O_\varepsilon(d_{ij}) = \{d_{\xi\eta} \mid \rho(d_{ij}, d_{\xi\eta}) \leq \varepsilon\}$ ε -окрестностью пикселя d_{ij} в D , где ρ – евклидово расстояние. Ясно, что для всякого пикселя в области D число различных его окрестностей конечно, причем для различных значений величины ε окрестности пикселя могут совпадать. В таких условиях радиусы рассматриваемых окрестностей принадлежат множеству расстояний $\{\rho_\xi\}_{\xi=1,2,\dots} = \{1, \sqrt{2}, 2, \sqrt{5}, \sqrt{8}, 3, \dots\}$ между пикселями дискретного поля снимка. Введенное понятие связности обобщает и расширяет известные понятия 4- и 8-связности [7].

При этом, хотя шаг между соседними пикселями в области D по любой координате равен единице, шаг дискретизации Δ между соответствующими им точками на плоскости может варьироваться в зависимости от выбираемого масштаба снимка. Основной вопрос, который возникает при замене аналогового изображения дискретным, состоит в том, чтобы определить условия, при которых такая замена является адекватной и не сопровождается потерей значимой информации, отображаемой на аналоговом снимке. Поэтому величина шага Δ должна выбираться из условия различения интересующих нас мельчайших объектов анализируемой сцены.

Кроме того, величина шага Δ должна выбираться для минимизации эффекта муара.

Эффект муара. Муар (рис. 2) – это узор, возникающий при наложении двух периодических сетчатых рисунков [2, 6].

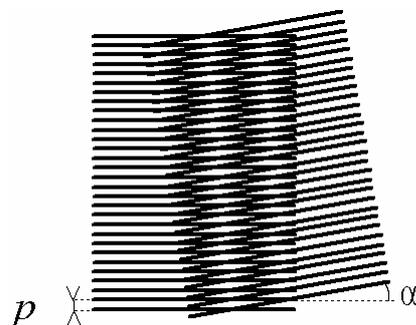


Рис. 2. Возникновение муара при наложении двух линейных решёток (<http://ru.wikipedia.org>)

Явление муара обусловлено тем, что повторяющиеся элементы двух рисунков следуют с немного разной частотой и то накладываются друг на друга, то образуют промежутки.

Муаровый узор возникает при цифровом фотографировании и сканировании сетчатых и других периодических изображений, если их период близок к расстоянию между светочувствительными элементами оборудования. Чаще, однако, муар проявляется при сканировании изображений, напечатанных полиграфическим способом. Это происходит из-за того, что сканер повторно растрирует изображение, на котором уже есть оригинальный растр.

Рассмотрим теперь важнейшие характеристики и модели изображений объектов, которые потребуются нам в дальнейшем.

Зашумление изображения. Любое цифровое изображение всегда подвергается воздействию шума, хотя типы и параметры шумов могут варьироваться, в зависимости от условий получения снимков, в том числе, от условий эксплуатации АЦП устройства регистрации. Основными источниками зашумления цифрового изображения являются процессы получения изображения с использованием АЦП и передачи изображения по каналам связи. Иными словами условия функционирования ПЗС матрицы АЦП, например, степень нагрева сенсоров, и условия функционирования каналов связи, например, атмосферные возмущения при использовании беспроводной связи, оказывают непосредственное влияние на уровень зашумления изображения [2]. Наличие значимого шума на изображении обуславливает необходимость рассмотрения методов фильтрации шума, актуальной для обеспечения устойчивости сегментации к зашумлению.

Чаще всего шум на изображении не является пространственно коррелированным, и он всегда присущ снимкам реальных сцен.

Тень изображения. Изображение объекта (до его сегментации), аналогично входному изображению, принято рассматривать в виде распределения яркости $F_o = \{f_{ij}\}$ над некоторой областью $D_o = \{d_{ij}\} \subset D$. При этом фон D_b принято определять в виде разности областей входного изображения D и изображения объекта D_o : $D_b = D \setminus (D_o)$.

Иначе говоря, предполагается, что каждый пиксель входного изображения может быть отнесен либо к фону, либо к объекту. Однако это не так, поскольку получение цифрового изображения связано с целым спектром факторов его искажения.

Ключевым фактором, ограничивающим возможность однозначного различения пикселей объекта и фона, является наличие “тени” изображения, образованной при оцифровке множеством пикселей, расположенных на границе раздела объекта и фона, яркость которых принимает промежуточное значение f^* между яркостями объекта f_o и фона f_b следующим образом:

$$f^* = \frac{S_o(i, j) \cdot f_o(i, j) + S_b(i, j) \cdot f_b(i, j)}{S_o(i, j) + S_b(i, j)},$$

где $S_o(i, j)$, $S_b(i, j)$ – площади фрагментов, отвечающих объекту и фону, а $S_o(i, j) + S_b(i, j)$ – площадь элементарной ячейки дискретизации (рис. 3).

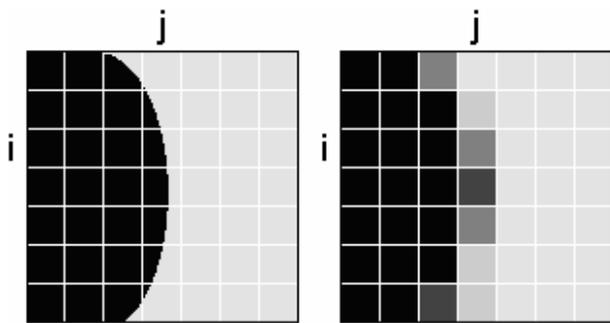


Рис. 3. Формирование тени изображения

Фактически, яркость пикселей тени – ложная яркость, отсутствующая в соответствующих точках аналогового изображения. При этом в сложных метеоусловиях, или несфокусированности при съемке, тень изображения может расширяться [8].

Наличие тени изображения является одним из важнейших факторов снижения контрастности изображений и устойчивости их сегментации, поскольку пиксели тени располагаются между объектом и фоном и способствуют сглаживанию переходов яркости и контрастности между ними. Потому вопросам учета и устранения пикселей тени в ходе моделирования, предобработки и сегментации следует уделять особое внимание.

Ветви границ изображений. Из-за возникновения погрешностей оцифровки, а также из-за наличия

тени изображения, границы изображений объектов всегда характеризуются наличием ветвей границ, которые в ряде случаев могут приобретать форму петель. В итоге топология границ изображений приобретает структуру, представляемую ее главной (истинной) компонентой и ветвями границы, что обуславливает визуальный эффект так называемой изрезанности границ изображений (рис. 4).

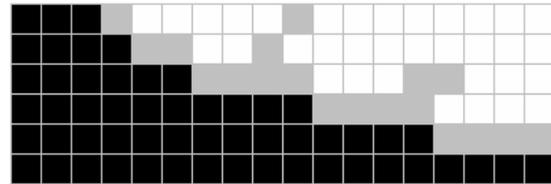


Рис. 4. Возникновение ветвей границ после оцифровки изображения, где: черным (■) отмечены пиксели объекта, белым (□) отмечены пиксели фона, а серым (■) пиксели тени изображения

Текстура. Поверхность реального объекта любого класса встречающегося в приложениях имеет присущие ему (классу) уникальные особенности поверхности, которые представляют собой не что иное, как текстуру. Это отражается и на распределении яркости объекта. Текстура объекта может иметь ярко выраженный узор, или нет, и ее гистограмма при этом может представляться нормальным законом распределения. В любом случае факт наличия текстуры объекта должен учитываться при составлении его модели и проведении сегментации.

Поскольку распределение яркости цифрового изображения объекта формируется под воздействием шума, оно (распределение яркости), фактически, является комбинацией воздействия излучения объекта и шума, и разделить эти воздействия на составляющие чрезвычайно сложная, а часто и практически невозможная задача. Поэтому распределение яркости изображения будем рассматривать в виде зашумленной текстуры.

Объекты на грани разрешения. Для определенных классов объектов, которые мы хотим распознавать, определяются требования по разрешению и масштабу их представления. Однако в поле зрения может быть масса иных объектов, особенно при получении снимков на местности, в частности, объектов на грани разрешения (рис. 5). В таких условиях эффекты зашумления и текстуры, в частности, могут создаваться за счет наличия на изображении объектов на грани разрешения.

Виньетирование. С точки зрения компьютерного зрения также важно учитывать эффект виньетирования, обуславливающий изменения геометрии (растяжения по осям) и яркости объектов на периферии поля зрения. На рис. 6 в качестве примера показано проявление эффекта виньетирования в виде затемнения изображения по краям кадра. Суще-

ствующие методы цифровой обработки изображений позволяют частично компенсировать эффект виньетирования [3].

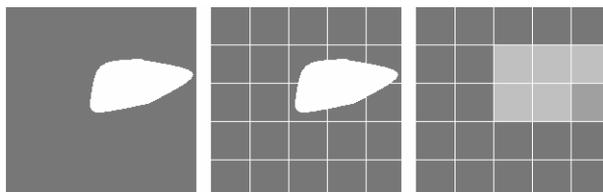


Рис. 5. Оцифровка изображения объекта на грани разрешения, представляемого в цифровом виде лишь своей тенью



Рис. 6. Завиньетированная фотография (<http://ru.wikipedia.org>)

Искажения изображения. Кроме описанных выше важнейших особенностей цифровых изображений, учет которых необходим при решении задач сегментации всегда, существует огромное количество искажений специального рода, которые должны учитываться особо в случае их значимого проявления [9]. Это относится, например, к негативным эффектам, связанным с проявлением недостатков линз оптической системы регистрации изображения, таких, как аберрация, астигматизм, дисторсия (и виньетирование), или искажениям вследствие влияния атмосферы при получении аэрофотоснимков. Модели таких искажений и методы их компенсации специально рассматриваются в соответствующих разделах предобработки изображений [1 – 5, 9].

Выводы

Для решения проблемы обеспечения устойчивости функционирования современных систем технического зрения в работе решена задача построения системной модели цифрового изображения с учетом основных типовых особенностей получения цифровых снимков, которые оказывают непосредственное влияние на решение задач сегментации и распознавания изображений.

Список литературы

1. Шапиро Л. Компьютерное зрение: пер. с англ. / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ, 2006. – 752 с.
2. Gonzalez R. Digital Image Processing. Second Edition / R. Gonzalez, R. Woods. – Prentice Hall, 2002. – 793 p.
3. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход: пер. с англ. / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
4. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
5. Sonka M. Image processing, analysis, and machine vision / M. Sonka, V. Hlavak, R. Boyle. – California (USA): Cole Publishing Company, 1999. – 770 p.
6. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие / И.С. Грузман, В.С. Куричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин, А.А. Спектор. – Новосибирск: НГТУ, 2000. – 168.
7. Путятин Е.П. Обработка изображений в робототехнике / Е.П. Путятин, С.И. Аверин. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
8. Смеляков К.С. Модели и методы сегментации границ изображений нерегулярного вида на основе адаптивных масок: дис. ... канд. техн. наук: 09.03.05 / Смеляков Кирилл Сергеевич. – Х., 2005. – 162 с.
9. Аэрокосмические исследования Земли. Обработка видеoinформации на ЭВМ / В.Г. Золотухин, Я.Л. Зиман, Г.А. Аванесов и др. – М.: Наука, 1978. – 245 с.

Поступила в редколлегию 25.09.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Рубан, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ПОБУДОВА МОДЕЛІ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ СЕГМЕНТАЦІЇ

К.С. Смеляков

Для забезпечення стійкості функціонування систем технічного зору в роботі вирішується задача побудови системної моделі цифрового зображення, в рамках якої враховувалися б всі основні особливості отримання цифрових знімків, які безпосередньо впливають на вирішення задач сегментації і розпізнавання зображень.

Ключові слова: система технічного зору, цифрове зображення, модель, дискретизація, квантування.

DIGITAL IMAGE MODEL FOR IMAGE SEGMENTATION

K.S. Smelyakov

For stable functioning of machine vision system a model of digital image system is developed which takes into account all the basic peculiarities of imaging that exert direct influence on image segmentation and recognition.

Keywords: system of technical sight, digital representation, model, digitization, quantum.