

УДК 004.932.2

И. О. Архипов, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
Р. Т. Аккузин, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАШУМЛЕННОГО ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЕГО ПРОСТРАНСТВЕННО-ХРОМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Степень достоверности анализа изображения во многом зависит от искажений, изначально присутствующих на обрабатываемом изображении. Одним из самых распространенных видов искажений цифровых изображений являются аддитивные шумы, источниками которых являются шумы фотодатчиков и АЦП, пыль и грязь на изображении-оригинале или на поверхности фотодатчика, полиграфический растр на обрабатываемом изображении-оригинале и т. д. Обработка зашумленных изображений имеет большое значение в оптико-электронных системах бесконтактного контроля объектов [1, 2]. Особого внимания заслуживают задачи измерения размеров малых объектов по их изображениям [3, 4]. Большинство методов измерения размеров объектов по изображениям основаны на выделении контуров объектов с использованием первой или второй производной изображения [5]. В работах [6, 7] для решения задач определения размеров объектов предложено использовать пространственно-хроматические параметры (ПХП) изображения. В работе [8] показано, что ПХП позволяют оценить поперечный размер малоразмерного структурного элемента графического изображения. Под малоразмерным далее следует понимать объект, поперечный размер которого соизмерим с «эффективным радиусом» размытия изображения.

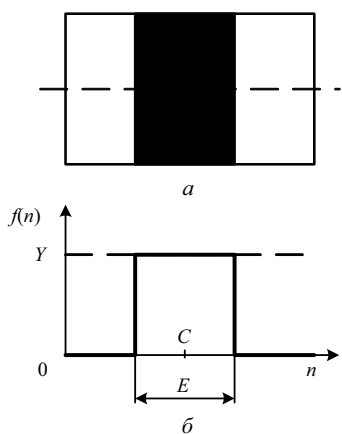


Рис. 1. Модель линейного элемента на белом фоне: *a* – графическое изображение линейного элемента; *b* – поперечное сечение линейного элемента

ПХП вычисляются по поперечному сечению структурного элемента в инверсной шкале яркостей (рис. 1) и позволяют оценить координаты, размер

и яркость объекта на размытом изображении. На рисунке 1, *b* показано поперечное сечение линейного структурного элемента в инверсной шкале яркостей, на котором обозначены следующие ПХП: центростенность C , экстенция E , яркость Y . Величина экстенции позволяет не только оценить ширину поперечного сечения структурного элемента, но и учесть при этом влияние размытия изображения на контуры структурного элемента [9]. Значение экстенции определяется по величине диссипации D следующим образом:

$$E = 2\sqrt{3D}. \quad (1)$$

Диссипация – это четвертый пространственно-хроматический параметр, определяющий степень локализации «массы» объекта вокруг его «центра тяжести». ПХП требуют, чтобы участки фона были закодированы нулевым уровнем, и любые случайные помехи на участках фона будут значительно искажать значения ПХП. Указанное требование существенно ограничивает области применения ПХП. В данной работе предложен способ предварительной обработки поперечного сечения структурного элемента, позволяющий с высокой точностью вычислять ПХП по зашумленному изображению и снизить зависимость ПХП от обязательного требования нулевых значений в областях фона.

Процесс определения размера структурного элемента размытого графического изображения описывается следующим алгоритмом [10, 11].

1. Определение ПХП размывающего воздействия. Для этого необходимо найти на изображении так называемый тестовый объект, поперечное сечение которого может быть описано участком скачка функции Хевисайда. На размытом изображении поперечное сечение тестового объекта будет являться одномерной моделью пограничной кривой $h_p(x)$, дифференцирование которой даст одномерную модель (поперечное сечение) функции рассеяния линии. По одномерной модели функции рассеяния линии $h_p(x)$ вычисляется диссипация размытия D_p [12].

2. Оценка ПХП размытого структурного элемента. Через размытый структурный элемент проводится поперечное сечение $h_s(x)$, для которого вычисляется диссипация D_s .

3. Вычисление исходных значений ПХП структурного элемента до размытия. Функция рассеяния линии $h_p(x)$ и поперечное сечение размытого структурного элемента связаны между собой соотношении

ем свертки $h_s(x) = h_p(x) * h_f(x)$, где $h_f(x)$ – поперечное сечение структурного элемента до размытия. В работе [13] сформулировано следующее свойство диссипаций, названное теоремой о свертке:

$$D_s [h_p(x) * h_f(x)] = D_p [h_p(x)] + D_f [h_f(x)]. \quad (2)$$

В соответствии с теоремой о свертке (2) диссипация поперечного сечения неразмытого структурного элемента $h_f(t)$ вычисляется следующим образом:

$$D_f = D_s - D_p.$$

Как показано в работе [14], данный алгоритм позволяет надежно измерять ширину малоразмерных структурных элементов в широком диапазоне степеней размытия.

На рис. 2 показаны профили одного и того же размытого структурного элемента без шума (рис. 2, а) и с аддитивным гауссовым шумом со стандартным отклонением $\sigma = 10$ градаций яркости. Как было сказано выше, появление ненулевых значений в областях фона на рис. 2, б искажают значения ПХП. Для обеспечения стабильности величин ПХП предлагается выполнить следующую предварительную обработку поперечного сечения структурного элемента. На первом этапе предварительной обработки выполняется центральное ограничение функции поперечного сечения на уровне 3σ :

$$h_c(x) = \begin{cases} h_s(x), & \text{если } h_s(x) > 3\sigma, \\ 0, & \text{если } h_s(x) \leq 3\sigma. \end{cases} \quad (3)$$



а



б

Рис. 2. Одномерные модели размытого незашумленного (а) и размытого зашумленного (б) структурного элемента

Центральное ограничение на уровне 3σ позволяет обнулить порядка 99,7 % зашумленных отсчетов поперечного сечения. Оставшиеся 0,3 % зашумленных пикселей, значения которых превышают величину 3σ , с большой долей вероятности будут являться одиночными ненулевыми пикселями.

На втором этапе предварительной обработки обнуляются одиночные пиксели, амплитуда которых не превышает величину 4σ . Результат предварительной обработки показан на рис. 3.



Рис. 3. Результат предварительной обработки фоновой области поперечного сечения зашумленного структурного элемента

Для испытания предложенного метода предварительной обработки размытые по гауссу изображения структурного элемента и тестового объекта искажались аддитивным гауссовым шумом со стандартным отклонением величиной от 1 до 30 градаций яркости. Величина стандартного отклонения размытия выбиралась из ряда [0,33; 0,66; 1,00]. Поперечные сечения тестового объекта и структурного элемента подвергались предварительной обработке, после чего вычислялись значения ПХП и выполнялась оценка ширины структурного элемента до размытия. В эксперименте в качестве структурных элементов использовались черные линии толщиной от 1 до 10 пикселей на белом фоне в инверсной шкале яркостей (фон закодирован нулевым уровнем). Для накопления статистики каждый эксперимент повторялся 1000 раз.

На рис. 4 показаны результаты экспериментов, где ошибкой считается отклонение измеряемой ширины структурного элемента на величину одного и более пикселей. Из рис. 4, а видно, что при стандартном отклонении размытия, равном величине 0,33, вероятность ошибки измерения ширины линии не превышает 1 % для величин стандартного отклонения аддитивного шума до 25 градаций яркости. При увеличении степени размытия вероятность ошибок измерения существенно выше, но при величинах стандартного отклонения аддитивного шума до 14 градаций яркости не превышает 20 %.

На рис. 4, б показана зависимость вероятности ошибки оценки экстенда от толщины структурного элемента при разных уровнях добавляемого шума и стандартного отклонения размытия, равного величине 0,66. Вероятность ошибки оценки экстенда для

шума со стандартным отклонением 5 градаций яркости не превышает 1 % для линий толщиной 1 пиксел и стремится к нулю для линий толщиной от 2 пиксе-

лов. Видно, что при всех уровнях аддитивного шума вероятность ошибки резко снижается с увеличением толщины линии.

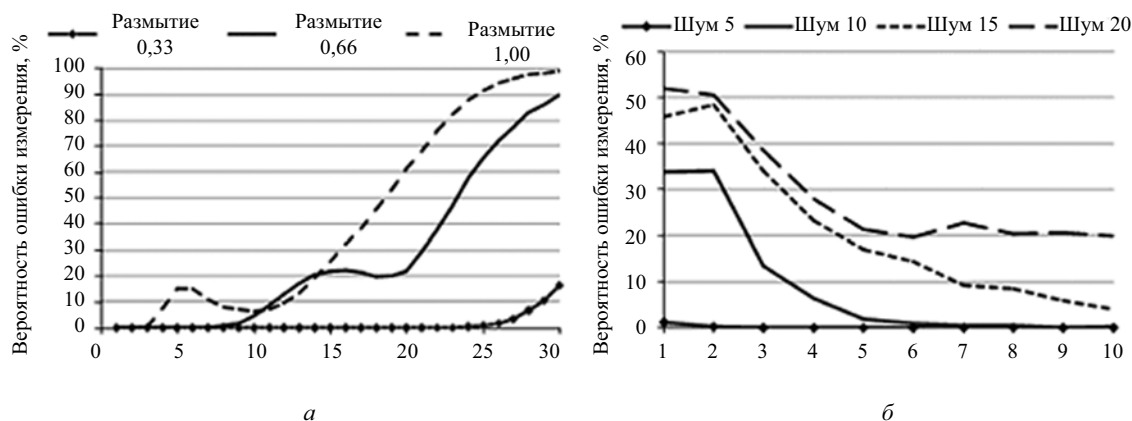


Рис. 4. Результаты оценки ПХП после предварительной обработки поперечного сечения структурного элемента: а – зависимость вероятности ошибки оценки экстенда от стандартного отклонения аддитивного шума при разных степенях размытия структурного элемента; б – зависимость вероятности ошибки оценки экстенда от толщины структурного элемента при разных уровнях добавляемого шума и стандартным отклонением размытия 0,66

Также было установлено, что абсолютная погрешность измерения толщины линии не превышает величины 1 пиксела для всех линий, всех степеней размытия и всех уровней аддитивного шума.

Предлагаемый метод предварительной обработки изображения позволяет вычислять ПХП реальных зашумленных структурных элементов графического изображения. При этом для небольших значений величины стандартного отклонения размытия и уровней аддитивного шума вероятность ошибки измерения не превышает 1 %. При больших степенях размытия и уровнях добавляемого шума вероятность ошибки измерения растет, однако значение абсолютной погрешности измерения не превышает 1 пиксела. В экспериментах, описанных в данной работе, величина стандартного отклонения аддитивного шума была заранее известна. На практике степень зашумленности изображения можно определить, например, методом неэталонной оценки качества изображения [15].

Библиографические ссылки

1. Егоров С. Ф. Система анализа изображений поверхности металлических роликов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. – № 2(20). – С. 96-98.
2. Шелковников Е. Ю. Компьютерное формирование изображений поверхности объектов в туннельном микроскопе // Химическая физика и мезоскопия. – 2007. – Т. 9. – № 3. – С. 297-309.
3. Определение размеров локальных объектов изображений для их идентификации / Б. В. Бардин, В. В. Манойлов, И. В. Чубинский-Надеждин, Е. К. Васильева, И. В. Заруцкий // Научное приборостроение. – 2010. – Т. 20. – № 3. – С. 88-94.
4. Колесникова Т. А., Жук Е. Ю., Федько Ю. И. Принцип определения размеров структурных элементов объекта

отсканированных цифровых изображений // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 2. – № 2(56). – С. 38-40.

5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
6. Архипов И. О. Моделирование и анализ линейных малоразмерных структурных элементов графических изображений на основе использования пространственно-хроматических параметров // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 2(62). – С. 149-152.
7. Архипов И. О. Повышение точности оценки пространственно-хроматических параметров малоразмерных структурных элементов графического изображения // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 7(35). – С. 18-21.
8. Архипов И. О. Моделирование и анализ линейных малоразмерных структурных элементов графических изображений на основе использования пространственно-хроматических параметров.
9. Там же.
10. Там же.
11. Архипов И. О. Анализ размытия графического изображения для оценивания пространственно-хроматических параметров // Приволжский научный вестник. – 2014. – № 7(35). – С. 14-17.
12. Архипов И. О. Повышение точности оценки пространственно-хроматических параметров малоразмерных структурных элементов графического изображения.
13. Мурынов А. И., Вдовин А. М., Лялин В. Е. Оценка геометрико-топологических параметров деталей изображения на основе метода центроидной фильтрации // Химическая физика и мезоскопия. – 2002. – Т. 4. – № 2. – С. 161-177.
14. Архипов И. О. Анализ размытия графического изображения для оценивания пространственно-хроматических параметров.
15. Лащенко Е. М. Неэталонная оценка уровня шума цифрового изображения на основе гармонического анализа // Компьютерная оптика. – Т. 36. – № 3. – 2012. – С. 439-447.