

А. А. Блудов¹

¹ АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»

СОВМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕТОЧНОГО ОПИСАНИЯ ИХ ОБРАЗОВ

Атрибутом современных робототехнических систем, систем управления безэкипажными транспортными средствами является машинное зрение, опирающееся на обработку изображений от высокоинформативных датчиков радиолокационного или оптикоэлектронного типов. Эффективные процедуры обработки и распознавания изображений основаны на использовании морфологических признаков образов объектов, отличающихся высокой пространственно-временной стабильностью. В работе рассмотрен один из аспектов проблемы морфологического анализа изображений, связанный с влиянием погрешностей опорных контурных описаний объектов. С привлечением разработанного аналитического аппарата показано, что результатом подобных погрешностей является снижение контраста объект/фон и, как следствие, возрастание ошибок сопоставления изображений. Степень этого возрастания зависит от типа объекта (площадной, линейный) и его характеристик (размер, контраст). Обоснованы практические рекомендации по допустимому уровню ошибок представления описаний объектов.

Ключевые слова: машинное зрение, морфологический анализ, сопоставление изображений

Введение

Системы технического зрения (СТЗ) и цифровой анализ изображений находят все большее применение в различных областях науки и техники, таких как интеллектуальные робототехнические комплексы, системы навигации и управления движущимися объектами, системы автоматического сопровождения и другие. Прогресс в области радиовидения обеспечил всепогодное и круглосуточное применение этих систем.

Важное направление в технологии машинного зрения связано с задачей поиска и оценки координат заданного объекта на сцене наблюдения, представленной обычно ее двумерной проекцией. Эффективным аппаратом решения задачи являются методы морфологического анализа изображений объектов, основанные на использовании такого признака-инварианта, как форма объекта [1].

Традиционным способом представления формы объекта является контурное описание в одном из цифровых форматов [2]. Несмотря на очевидные достижения технологии подготовки образов объектов, основанной на использовании детальных фото, видеоматериалов, процесс формирования контурного препарата всегда сопровождается погрешностями. Подобные погрешности, заключающиеся в неточной передаче информации об объекте, будут оказывать влияние на качество работы алгоритмов распознавания, в частности – на точность решения поисковой задачи.

В связи с этим приобретает актуальность задача оценки негативного влияния эффектов, обусловленных неточностью эталонного описания образов объектов. Ее решению посвящена настоящая работа.

Основные соотношения

Рассмотрим простую сцену, на основе которой сформировано опорное изображение A (рис. 1).

Изображение содержит две связные области: область объекта яркостью a_2 и область фона яркостью a_1 . Подобный сюжет часто встречается, например, в системах сопровождения объектов по их изображениям.

СТЗ формирует наблюдение Z , представляющее собой изображение сцены, которое искажено шумами информационного датчика системы.

В работах [3, 4] предложен морфологический алгоритм сопоставления изображений, включающий следующие операции:

- выделение на опорном изображении связных областей (в рассматриваемом случае это области объекта и фона);
- вычисление оценок яркости связных областей по наблюдаемому изображению Z

$$\hat{a}_j = (n_j)^{-1} \sum_{i=1}^{n_j} z_i^{(j)}, \quad (1)$$

где $z_i^{(j)}$ – яркость i -го элемента (дискрета) наблюдаемого изображения Z , соответствующего

- j -й связной области изображения A ; n_j – количество элементов (дискрет) в j -й связной области;
- вычисление меры сходства изображений с использованием вместо эталонных яркостей областей их оценок вида (1).

Применительно к изложенной постановке задачи аналитическое выражение для точности совмещения изображений получено в работе [5]

$$\sigma = \frac{\Delta}{\sqrt{l(c-1)q}}, \quad (2)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение ошибки совмещения изображений; Δ – линейный размер дискрета изображения; l – длина контура изображения объекта в дискретах; $c = \frac{a_2}{a_1}$ – контраст объект/фон; q – величина действующего при наблюдении отношения сигнал/шум.

Выражение (2) справедливо для гипотезы об аддитивном гауссовском шуме информационного датчика СТЗ.

На рис. 1 помимо фактического контура объекта изображено его эталонное описание. Области несовпадения контуров назовем невязками; в зависимости от того, увеличивают они или уменьшают площадь объекта, невязки будут условно положительными или отрицательными.

Для оценок яркостей объекта и фона имеют место следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \hat{a}_2 &= a_2 - \left[k_a \frac{\Delta s}{s} a_2 - (1 - k_a) \frac{\Delta s}{s} a_1 \right]; \\ \hat{a}_1 &= a_1 + \left[k_a \frac{\Delta s}{s_f} a_2 - (1 - k_a) \frac{\Delta s}{s_f} a_1 \right], \end{aligned} \quad (3)$$

где k_a – коэффициент асимметрии, равный относительной доле отрицательных невязок; Δs – общая площадь невязок; s – площадь объекта; s_f – площадь фоновой области изображения.

При равной доле отрицательных и положительных невязок $k_a = 0,5$, поэтому выражения для оценок яркости приобретают вид

$$\begin{aligned} \hat{a}_2 &= a_2 - 0,5 \frac{\Delta s}{s} (a_2 - a_1); \\ \hat{a}_1 &= a_1 + 0,5 \frac{\Delta s}{s_f} (a_2 - a_1), \end{aligned} \quad (4)$$

а эффективный контраст будет равен

$$c_e = \frac{\hat{a}_2}{\hat{a}_1} = \frac{a_2 - 0,5 \frac{\Delta s}{s} (a_2 - a_1)}{a_1 + 0,5 \frac{\Delta s}{s_f} (a_2 - a_1)} = \frac{c - 0,5 \frac{\Delta s}{s} (c-1)}{1 + 0,5 \frac{\Delta s}{s_f} (c-1)}. \quad (5)$$

Площадь невязок Δs можно оценить с помощью криволинейного интеграла модуля функции $\varphi(x)$,

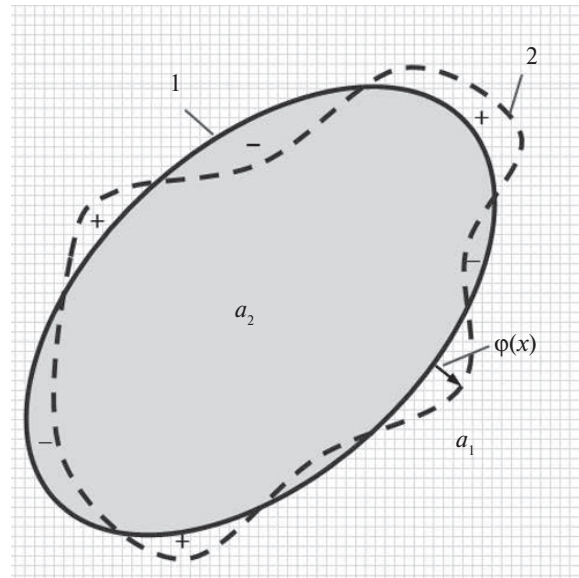


Рисунок 1. Опорное изображение A : 1 – фактический контур объекта; 2 – эталонное описание контура объекта

описывающей ошибку отображения контура объекта (рис. 1):

$$\Delta s = \int_l |\varphi(x)| dx \approx l \Delta \langle |\varphi(x)| \rangle, \quad (6)$$

где $\langle |\varphi(x)| \rangle$ – математическое ожидание случайной величины $|\varphi(x)|$.

Допуская, что ошибка отображения контура подчиняется нормальному распределению с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ_c^2 , получаем

$$\Delta s = l \Delta \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma_c \approx 0,7979 l \Delta \sigma_c. \quad (7)$$

Для линейных объектов $s = l \Delta^2$ и относительная невязка равна

$$\frac{\Delta s}{s} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{\sigma_c}{\Delta} \approx 0,8 \frac{\sigma_c}{\Delta}. \quad (8)$$

Для площадных объектов при их аппроксимации равновеликой окружностью диаметром D

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{0,8 l \Delta \sigma_c}{\pi D^2} \approx 3,2 \frac{\sigma_c}{D}. \quad (9)$$

Как следует из формул (5), погрешности описания контура объекта приводят к деградации контраста объект/фон. С целью количественной оценки этого эффекта введем параметр $\gamma = \frac{s}{s_f}$, равный отношению площадей объекта и фоновой области на изображении. Тогда выражение (5) для эффективного контраста примет вид

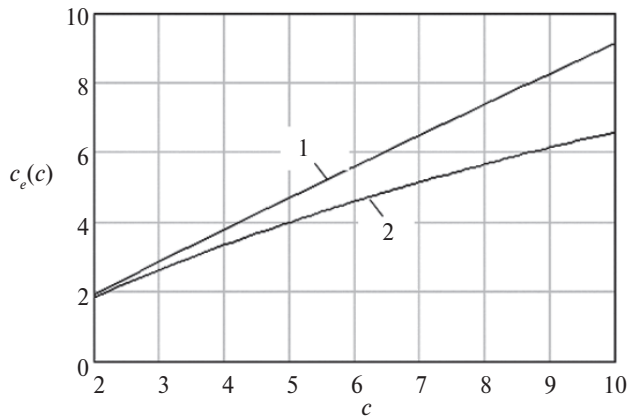
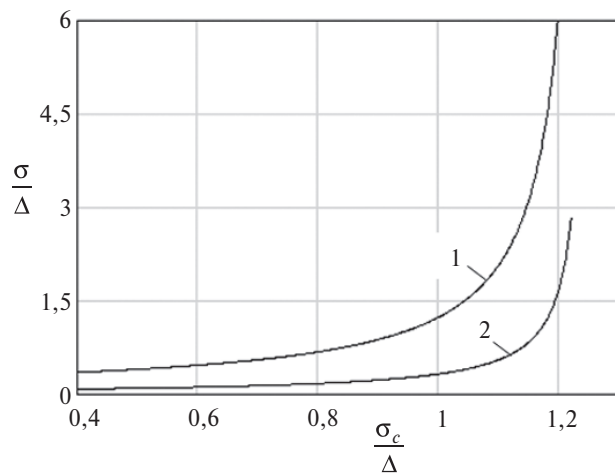
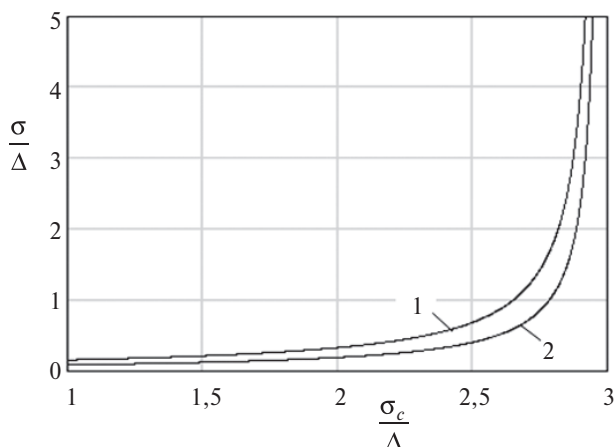


Рисунок 2. Деградация контраста при неточном отображении контура объекта ($\Delta s/s = 0,1$): 1 – малый объект ($\gamma = 0,1$); 2 – крупный объект ($\gamma = 1$)



а)



б)

Рисунок 3. Зависимость приведенной погрешности совмещения изображений

от параметра $\frac{\sigma_c}{\Delta}$, $1 \rightarrow c = 1,2$; $2 \rightarrow c = 4$:

а – линейный объект; б – площадной объект

$$c_e = \frac{c - 0,5 \frac{\Delta s}{s} (c-1)}{1 + 0,5 \frac{\Delta s}{s} \gamma (c-1)} \quad (10)$$

Результаты аналитического моделирования

На рис. 2 приведены графики, иллюстрирующие снижение контраста при обработке изображений малых ($\gamma = 0,1$) и крупных ($\gamma = 1$) объектов. Видно, что в последнем случае данный эффект особенно выражен и для контрастных объектов достигает примерно 35%.

В соответствии с (2) следствием эффекта снижения контраста является увеличение ошибки совмещения изображений. На рис. 3 приведены графики зависимости приведенной погрешности совмещения изображений $\left(\frac{\sigma}{\Delta}\right)$ от параметра $x = \frac{\sigma_c}{\Delta}$.

Приведенные графики построены для значений $l = 30$ и $q = 4$. Из их рассмотрения видно, что зависимость $\frac{\sigma}{\Delta} \left(\frac{\sigma_c}{\Delta}\right)$ носит выраженный асимптотический характер, обусловленный неопределенностью в (2) при стремлении эффективного контраста к единице.

Представляет интерес оценка сверху допустимой погрешности отображения контура объекта. Такая оценка может быть получена из условия $c_e > 1$, при котором

$$c - 0,5 \frac{\Delta s}{s} (c-1) > 1 + 0,5 \frac{\Delta s}{s} \gamma (c-1) \quad (11)$$

Подставляя в неравенство (11) $\frac{\Delta s}{s} = 0,8 \frac{\Delta c}{\Delta}$, получаем, что при подготовке контурного препарата для линейных объектов должно обеспечиваться условие

$$\sigma_c < \frac{2,5}{1+\gamma} \Delta \quad (12)$$

Заметим, что оценка (12) не зависит ни от размера, ни от исходного контраста изображения линейного объекта. В практическом случае при $\gamma \sim 1$ погрешность подготовки контурного препарата не должна превышать величины дискрета изображения.

Для площадных объектов при аппроксимации их равновеликой окружностью $\frac{\Delta s}{s} = 3,2 \frac{\sigma_c}{D}$ выполнение неравенства (11) обеспечивается при условии

$$\frac{\sigma_c}{\Delta} < \frac{D}{\Delta} \cdot \frac{1}{1,6(1+\gamma)}; \quad (13)$$

$$\sigma_c < \frac{d}{1,6(1+\gamma)} \Delta,$$

где d – диаметр эквивалентной окружности, выраженный в дискретах.

Как и в случае линейных объектов, оценка сверху погрешности оконтуривания площадного объекта не зависит от исходного контраста его изображения.

Заключение

Точность сопоставления изображений, представленных морфологическими признаками, является важной характеристикой алгоритмов машинного

зрения. Полученные аналитические соотношения позволяют оценить влияние на эту характеристику погрешностей подготовки контурных образов объектов. Рассмотрены асимптотические требования к контрасту объект/фон, на основе которых обоснованы оценки сверху для погрешностей оконтуривания объектов. Показано, что величина этих оценок зависит от типа объектов интереса, дискретности их представления и соотношения площадей объекта и фона на изображении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю. Сравнение и локализация фрагментов изображений с использованием проективных морфологий // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. № 2. С. 14–22.
2. Фурман Я. А. и др. Введение в контурный анализ. М.: Физматлит, 2003. 592 с.
3. Пытьев Ю. П. Морфологический анализ изображений // Доклады АН СССР. 1983. Т. 269. № 5. С. 1061–1064.
4. Пытьев Ю. П., Куличков А. И. Методы морфологического анализа изображений. М.: Физматлит, 2010. 336 с.
5. Блудов А. А., Колтышев Е. Е., Минкин Д. Ю. Радиолокационные методы навигации по картам местности. СПб.: Владос, 2011. 208 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Блудов Александр Александрович, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Российская Федерация, 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д.37, лит. А, тел.: 8 (812) 600-04-27, e-mail: bludov_aa@radar-mms.com.

For citation: Bludov A. A. Combining of objects images under conditions of inaccurate description of their images. Issues of radio electronics, 2020, no. 4, pp. 6–9. DOI 10.21778/2218-5453-2020-4-6-9

A. A. Bludov

COMBINING OF OBJECTS IMAGES UNDER CONDITIONS OF INACCURATE DESCRIPTION OF THEIR IMAGES

An attribute of modern robotic systems and control systems for unmanned vehicles is a machine vision, which is based on processing of images obtained from highly informative radar or optoelectronic sensors. Effective image processing and recognition procedures are based on use of morphological features of objects images with high space-time stability. This paper considers one of the aspects of images morphological analysis related to the influence of errors in the reference contour descriptions of objects. With use of developed analytical apparatus it is shown that the result of such errors is a decreasing of object/background contrast and, as a result, increasing of image comparison errors. The degree of this increase depends on the object type (area, linear) and its characteristics (size, contrast). Practical recommendations on the acceptable level of errors in the representation of object descriptions are justified.

Keywords: machine vision, morphological analysis, image comparison

REFERENCES

1. Vizilter Yu. V., Zheltov S. Yu. Comparison and localization of image fragments using projective morphologies. *Vestnik kompyuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2008, no. 2, pp. 14–22. (In Russian).
2. Furman Ya. A., et al. *Vvedenie v konturnyi analiz* [Introduction to contour analysis]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003, 592 p. (In Russian).
3. Pytev Yu. P. Morphological analysis of images. *Doklady AN SSSR*, 1983, vol. 269, no. 5, pp. 1061–1064. (In Russian).
4. Pytev Yu. P., Kulichkov A. I. *Methods of morphological analysis of images* [Metody morfologicheskogo analiza izobrazhenii]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2010, 336 p. (In Russian).
5. Bludov A. A., Koltyshev E. E., Minkin D. Yu. *Radiolokatsionnye metody navigatsii po kartam mestnosti* [Radar methods of navigation on maps]. Saint-Petersburg, Vlados Publ., 2011, 208 p. (In Russian).

AUTHOR

Bludov Alexander, D. Sc., professor, principal research fellow, «NPP «Radar mms» JSC, 37A, Novoselkovskaya St., Saint-Petersburg, 197375, Russian Federation, tel.: +7 (812) 600-04-27, e-mail: bludov_aa@radar-mms.com