

## **АНАЛИЗ ИНВАРИАНТНОСТИ МЕР БЛИЗОСТИ ДЛЯ ПОИСКА ОБЪЕКТА ПО ШАБЛОНУ ПРИ ВРАЩЕНИИ И МАСШТАБИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

*Дмитрий Андреевич Утев*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, аспирант кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (999)451-65-28, e-mail: yoh60438@gmail.com

*Ирина Валентиновна Борисова*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: i.v.borisova@corp.nstu.ru

*Валерий Павлович Ющенко*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр.К. Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры автономных информационных и управляющих систем, тел. (383)346-26-23, e-mail: jwp@aport2000.ru

В работе рассматривается вопрос устойчивости обнаружения объектов на изображениях с помощью мер близости. Целью работы является определение степени инвариантности различных мер близости для поиска объектов по шаблону при вращении и масштабировании сканируемого изображения и выявление меры близости, наиболее устойчивой к данным геометрическим преобразованиям изображения. Анализируемые меры близости: корреляционная, компарационная, метрика расстояний до границ(ChamferDistance). Моделирование производится в пакете программ Matlab. Для тестирования мер близости создана база из тридцати телевизионных изображений. Изображения представляют собой сцены, содержащие искомые объекты - цели, с имитацией как сложного, так и простого фона. Определено, что все рассматриваемые меры близости устойчиво определяют цель при небольших поворотах и коэффициентах масштабирования.

**Ключевые слова:** обработка изображения, поиск цели, меры близости, метрика расстояний, инвариантность к повороту, масштаб изображения.

## **ANALYSIS OF ROTATION AND SCALE INVARIANCE FOR PROXIMITY MEASURES IN TARGET DETECTION**

*Dmitry A. Utev*

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. Student, Department Autonomous Information and Control Systems, phone: (999)451-65-28, e-mail: yoh60438@gmail.com

*Irina V. Borisova*

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D., Assoc. Prof., Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: i.v.borisova@corp.nstu.ru

**Valery P. Yushchenko**

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc, Prof., Department of Autonomous Information and Control Systems, phone: (383)346-26-23, e-mail: jwp@aport2000.ru

The problem of stability of object detection in images using proximity measures is considered. The purpose of the work is to determine the degree of invariance of various proximity measures for detecting objects by reference when rotating and zooming the scanned image. The proximity measure that is most resistant to these geometric transformations of the image is found out. The proximity measures are analyzed: correlation, comparison, Chamfer Distance. The target location is based on the coordinates of the extremum of the target function. Modeling is performed in the Matlab software package. A database of thirty television images was created to test the proximity measures. Test images contain the required objects and imitations of both complex and simple backgrounds. It was determined that all considered proximity measures steadily determine the target with small turns and scaling factors.

**Key words:** image processing, target detection, proximity measure, ChamferDistance, rotation invariance, image scale.

### **Введение**

На сегодняшний день существует несколько подходов к обнаружению объектов на изображениях [1–5]. Одни методы основаны на применении различных мер близости для поиска объекта по шаблону на полутоновом изображении. В работе [6] проведен сравнительный анализ трех мер близости: корреляционной, компарационной и метрики расстояния до границ (ChamferDistance). В заключении работы авторы говорят о преимуществе метрики ChamferDistance над остальными исследуемыми мерами. Другие методы, такие как SIFT [7], HOG [8] и их различные модификации [9–11] используют гистограммы направленных градиентов для поиска. Данные группы методов обладают инвариантностью к геометрическим и фотометрическим преобразованиям изображения.

Целью настоящей работы является исследование инвариантности корреляционной, компарационной мер близости и ChamferDistance к повороту и масштабированию изображения.

### **Методы обнаружения объектов на изображениях**

Поиск объекта на изображении осуществляется сканированием изображения окном, линейные размеры которого соответствуют размерам эталона, с применением различных мер близости.

*Корреляционная мера близости.* Для поиска объекта на изображении с помощью корреляционной меры близости рассчитывают корреляционную функцию [12] (1):

$$R(x_1, y_1) = \frac{\sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} (b(x_1 + x, y_1 + y) - \bar{b})(d(x, y) - \bar{d})}{\sqrt{D_b D_d}}, \quad (1)$$

где  $b(x,y)$  и  $d(x,y)$  – яркости элемента фрагмента изображения и элемента эталона размером  $N \times M$ ;  $\bar{b}$  и  $\bar{d}$  – средние яркости по фрагменту и шаблону соответственно;  $D_b$  и  $D_d$  – дисперсии яркости по фрагменту и эталону.

Местоположение объекта определяется по максимуму корреляционной функции.

*Компарационная мера близости* отличается от корреляционной пространством признаков, в котором происходит вычисление [13]. Если в корреляционной матрице признаком точки является яркость, то в компарационной – направление перепада яркости.

Рассматривается фасетная модель изображения [14], которая описывает реальное изображение как совокупность наклонных фасетов (плоскостей, ближайших к локальной окрестности). Ориентация фасета в координатной плоскости совпадает с ориентацией вектора градиента яркости в локальной окрестности [15]. Дискретное изображение с помощью порога анизотропности делят на пять классов, первые четыре соответствуют направлениям градиента  $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ , а пятый – окрестности с изотропной структурой. Для анизотропных окрестностей направление с максимальной энергией определяет ориентацию градиента и класс окрестности [16].

Компарационная функция рассчитывается по формуле (2):

$$S = \sum_j \sum_k \delta_{c(j,k)}^{a(j,k)}, \quad (2)$$

где  $a(j,k)$  и  $c(j,k)$  – элементы сравниваемых закодированных изображений,  $\delta$  – символ Кронекера [17]:

$$\delta_{c(j,k)}^{a(j,k)} = \begin{cases} 1, & a(j,k) = c(j,k) \\ 0, & a(j,k) \neq c(j,k) \end{cases}. \quad (3)$$

По функции (2) рассчитывается количество совпадений закодированных изображений. Сравнивая закодированные фрагменты и шаблон в каждой точке изображения, строится компарационная матрица изображения (КМ).

Так как при сравнении объекта и фрагмента фона количество совпадений случайно, то будем считать, что распределение фоновых элементов КМ подчиняется биномиальному распределению:

$$P(M, W, p) = \binom{W}{M} p^M q^{W-M}, \quad (4)$$

где  $W$  – площадь фрагментов,  $M$  – значение элемента КМ,  $p$  – вероятность совпадения классов в точке,  $q$  – вероятность несовпадения, при этом  $p+q=1$ .

Локация объекта осуществляется по максимуму КМ.

*ChamferDistance*. В основе метода *ChamferDistance* [18] лежит метрика *DistanceTransform*. Исходное изображение и эталон подвергается бинаризации, а следом – кодированию. В бинарном изображении элементы со значением 1 соответствуют точкам расположения границ объектов, остальные 0. В процессе кодирования элементы матрицы, соответствующие расположению контура на бинарном изображении, заполняются нулями, остальные – расстояниями до ближайшего контура. Полученные матрицы сопоставляются и строится функция, соответствующая сумме значений элементов (5):

$$C(x_1, y_1) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{K-1} d_b(x, y) \cdot T(x_1 + x, y_1 + y), \quad (5)$$

где  $d_b(x, y)$  – значения элементов бинарного эталона,  $T$  – матрица расстояний до границ.

Координаты цели определяются по минимуму функции (5).

### *Результаты исследования*

Для проведения анализа была создана база из тридцати телевизионных изображений. Изображения представляют собой сцены, содержащие искомые объекты – цели, с имитацией как сложного, так и простого фона. Моделирование проводилось в пакете прикладных программ Matlab [19] с шагом изменения угла поворота в  $1^\circ$  и коэффициента масштабирования в 0.01 раз. Для бинаризации изображения применялся детектор контуров Canny [20].

Пример эталонов различных изображений представлен на рис. 1, а обнаруженных объектов при угле поворота  $10^\circ$  – на рис. 2.



Рис. 1. Эталоны



Рис. 2. Обнаруженные объекты.

По данным моделирования были построены графики, определяющие границы инвариантности мер близости повернутого изображения (рис 3, а) и изображения с измененным масштабом (рис 3, б, в). При вращении изображения корреляционная и компарационная мера близости устойчиво работают при угле поворота до 15°, метрика ChamferDistance – 20°. При изменении масштаба ChamferDistance уверенно лоцирует объекты в диапазоне значений коэффициента масштабирования от 0.9 до 1.13, компарационная мера от 0.85 до 1.2, корреляционная от 0.84 до 1.22 в среднем.

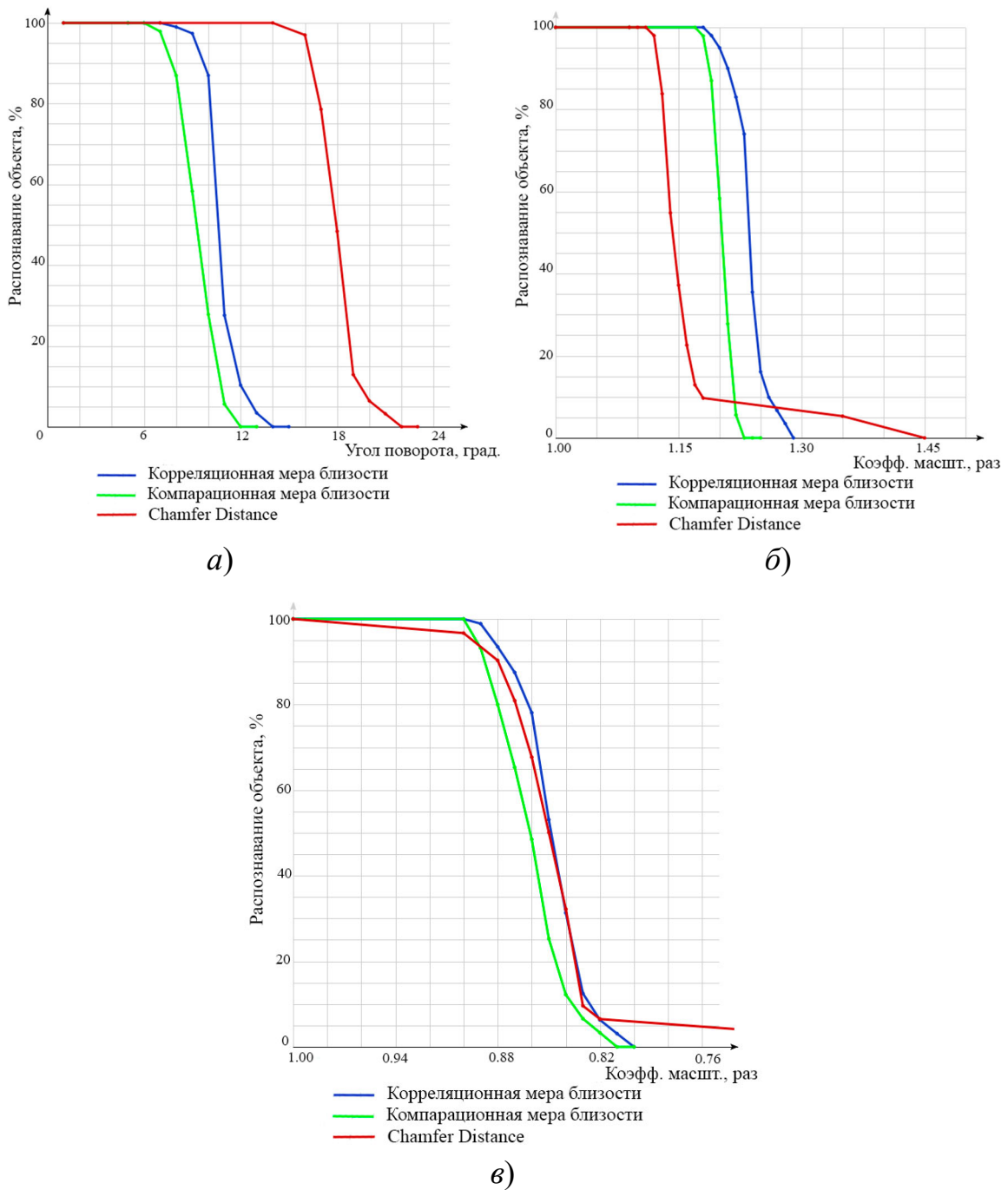


Рис. 3. Границы устойчивости мер близости.

## Заключение

При анализе различных мер близости на инвариантность при вращении и масштабировании изображения определено, что с помощью исследуемых мер близости уверенно обнаруживаются объекты на изображениях при небольших геометрических преобразованиях: вращении изображений в пределах от 10 до 20 градусов и изменении масштаба с диапазоном коэффициента масштабирования 0.85 – 1.2 раз. Метрика ChamferDistance обеспечивает наилучшее обнаружение при повороте изображения, но уступает другим мерам близости при масштабировании. Разница между компарационной и корреляционной мерой минимальна в пользу последней. Необходимо отметить, что полученные границы устойчивости исследуемых мер значительно ниже, чем у методов, основанных на применении гистограмм направленных градиентов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. / Р. Гонсалес, Р. Вудс ; под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Басараб, М. Цифровая обработка сигналов и изображений / М. Басараб, В. Волосюк, О. Горячкин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 552 с.
3. Гальчук, И.В. Методы выделения малоразмерных подвижных объектов на сложном фоне / И.В. Гальчук, А.Г. Костевич // Тр. юбилейной науч.-техн. конф. по радиоэлектронике, посвященной 50-летию РТФ. – Томск, 2000. – Т. 5. – С. 82–86.
4. Солонина, А.И. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов [Текст] / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, Л.А. Яковлев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.
5. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен: пер. с англ. / Р. Дуда, П. Харт; под ред. В.Л. Стефанюка. – М.: Изд-во «МИР», 1976. – 509 с.
6. Анализ мер близости для поиска объектов по шаблону / И. В. Борисова, В. Н. Легкий, Д. А. Утев и др. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Техническая наука. – 2018. – № 3 (47). – С. 36–46. – DOI 10.21685/2072-3059-2018-3-
7. Lowe, D.G. Object recognition from local scale-invariant features / D.G. Lowe // Proceedings of the International Conference on Computer Vision. – 1999. – Vol. 2. – P. 1150–1157. – DOI: 10.1109/ICCV.1999.790410.
8. Dalal, N. Histograms of oriented gradients for human detection / N. Dalal, B. Triggs // Computer Vision and Pattern Recognition. – 2005. – Vol. 1. – P. 886–893. – DOI: 10.1109/CVPR.2005.177.
9. Лукашевич, П.В. Масштабно-инвариантный алгоритм обнаружения областей изображений / П.В. Лукашевич, Б.А. Залесский // Информатика. – 2011. – № 3. – С. 118–128.
10. Мирамонте-Харамилло Д. Алгоритм сопоставления изображений на основе скользящих гистограмм направленных градиентов / Д. Мирамонте-Харамилло, В.Х. Диас-Рамиреси др. // Информационные процессы. – 2014. – Т. 14, № 1. – С. 56–63.
11. Rublee E., ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF / E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski // IEEE International Conference on Computer Vision, –2011, – P. 2564–2571.
12. Борисова И. В. Цифровые методы обработки информации: учебное пособие [Текст] / И. В. Борисова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 139 с.
13. Борисова, И.В. Применение ориентации градиента яркости для систем автосопровождения объектов / И.В. Борисова, В.Н. Легкий, С.А. Кравец // Компьютерная оптика. – 2017. – Т.41, №.6 – С. 931–937. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-6-931-937

14. Haralick, R.M. A facet model for image data / R.M. Haralick, L.T. Watson // Computer Graphics and Image Processing. – 1981. – Vol. 15, Issue 2. – P. 113-129. – DOI: 10.1016/0146-664X(81)90073-3.
15. Попов П.Г., Локальные анизотропные признаки изображений / П. Г. Попов // Оптический журнал. – 1994. - № 2. – С.36.
16. Попов, П.Г., Практическое применение эффекта «отскока» в обработке изображений / П.Г. Попов, И.В. Борисова // Оптический журнал. – 1999. – Т. 66, № 4. – С. 94–101.
17. Броневи́ч А.Г., Анализ неопределенности выделения информативных признаков и представлений изображений/ А. Г. Броневи́ч, А. Н. Каркищенко, А. Е. Лепский.– М:ФИЗМАЛИТ, 2013. – 320с.
18. Borgefors, G. Distancetransformationsindigitalimages / G. Borgefors // ComputerVision, Graphics, andImageProcessing. – 1986. – Vol. 34, № 3. – P. 344–371.
19. Гонсалес Р., Цифровая обработка изображений в среде MATLAB./ Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М: Техносфера, 2006. – 616с.
20. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligenc. – 1986. – Vol. 6. – P. 679–698.

© Д. А. Утев, И. В. Борисова, В. П. Ющенко, 2020