

Методика сравнения малоинформативных изображений

М.Ю. Филиппов, И.Д. Королев

*Краснодарское высшее военное училище им. генерала армии С.М.Штеменко,
Краснодар*

Аннотация: В статье рассмотрены известные методы сравнения графических изображений. Для повышения точности сравнения малоинформативных изображений, в качестве которых используются формализованные условные обозначения элементов на топографических картах, в работе предложена методика сравнения малоинформативных графических изображений, состоящая из совокупности методов сравнения изображений – среднеквадратического отклонения пикселей одного изображения от другого и метода попиксельного сравнения. Дано определение формализованному графическому документу. Дано подробное описание предложенной методики. На примере двух наборов данных, состоящих из графических элементов, распределенных по классам в зависимости от их начертания, проверена работа методики и экспериментально подобраны оптимальные параметры в контексте решения поставленной задачи. Результаты проведенных в работе вычислительных экспериментов показали эффективность ее применения по сравнению с известными методами для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: сравнение изображений, методика, формализованный графический документ, среднеквадратическое отклонение, попиксельное сравнение, эксперимент, малоинформативное изображение, класс, топографическая карта, размер изображения.

Задача обработки и анализа изображений получила свое развитие во второй половине XX века, параллельно с развитием компьютерных технологий. Среди особо важных и интересных задач в данной предметной области можно выделить задачу поиска похожих изображений с должным качеством, что характеризуется высокой трудоемкостью при использовании традиционных алгоритмов машинного обучения, и имеет большую значимость в различных областях применения, в том числе, и для государственной обороны страны [1, 2].

Особую сложность представляют рассматриваемые в данной работе малоинформативные графические изображения, применяемые для нанесения обстановки на топографические карты. Выбор обусловлен тем фактом, что топографическая карта с нанесенными на неё графическими элементами относится к формализованному графическому документу.

Под формализованным графическим документом в контексте рассматриваемой задачи понимается типовой стандартный документ, обладающий типовым составом реквизитов и их расположением, содержательная (информативная) часть которого представлена реквизитом – графическое изображение, состоящее из отдельных графических элементов, построенных посредством линий, штрихов, светотени, точек и цвета [3].

Требования, предъявляемые к сравнению графических элементов в контексте поставленной задачи, не позволяют использовать известные методы ввиду их низкой эффективности.

В данной работе предложена методика сравнения малоинформативных графических элементов, основанная на комбинации двух методов:

сравнения среднеквадратического отклонения пикселей одного изображения от другого (далее МСКО) [4-6];

попиксельного сравнения изображений (далее МПС) [7, 8].

Выбор обусловлен тем, что данные методы обладают низкой вычислительной сложностью, поскольку не требуют расчета структурных, спектральных и модельных признаков со значительными временными затратами.

Методика сравнения малоинформативных графических элементов состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Подготовка исходных данных.

С этой целью изображения графических элементов, используемых для сравнения, приводятся к общему виду – границы рассматриваемого изображения совпадают с границами контуров графического элемента.

Шаг 2. Преобразование изображений графических элементов в градации серого.

Для сравнения используются графические элементы в градациях серого – одноканальные цифровые изображения с 256 уровнями яркости [9].

Шаг 3. Масштабирование графических элементов.

Полученные изображения графических элементов масштабируются к общему размеру [2].

Шаг 4. Вычисление среднеквадратического отклонения для каждого рассматриваемого изображения.

Для вычисления среднеквадратического отклонения изображения вычисляется среднее значение яркости пикселей данного изображения [6]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где \bar{x} – среднее значение яркости пикселей изображения; x_i – значение яркости i -го пикселя изображения; n – количество пикселей в изображении.

Затем вычисляется значение среднеквадратического отклонения пикселей для каждого изображения [6]:

$$S(I) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

где $S(I)$ – среднеквадратическое отклонение пикселей изображения I ; \bar{x} – среднее значение яркости пикселей изображения I ; x_i – значение яркости i -го пикселя изображения I ; n – количество пикселей в изображении.

Шаг 5. Сравнение полученных значений методом среднеквадратического отклонения.

Полученные значения графических элементов сравниваются по следующей формуле:

$$F_{CKO}(I_1, I_2) = \begin{cases} I_1 = I_2, & \text{если } \frac{S_2}{S_1} \times 100 \geq \delta_{пз}, (S_1 \geq S_2), \\ I_1 \neq I_2 & \text{иначе} \end{cases}, \quad (3)$$

где $F_{CKO}(I_1, I_2)$ – функция сравнения изображения I_1 с изображением I_2 методом среднеквадратического отклонения; S_1 – среднеквадратическое отклонение пикселей изображения I_1 ; S_2 – среднеквадратическое отклонение

пикселей изображения I_2 ; $\delta_{ПЗ_1}$ – пороговое значение для метода среднеквадратического отклонения.

Шаг 6. Вычисление количества одинаковых пикселей сравниваемых изображений.

Значение яркости каждого пикселя одного изображения сравниваются с значением яркости каждого пикселя другого изображения:

$$N_{pn} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w N_{ij}, N_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_{ij} = b_{ij} \\ 0, & \text{если } a_{ij} \neq b_{ij} \end{cases} \quad (4)$$

где N_{pn} – количество одинаковых пикселей изображений I_1 и I_2 ; a_{ij} – значение пикселя изображения I_1 с координатами (i,j) ; b_{ij} – значение пикселя изображения I_2 с координатами (i,j) .

Шаг 7. Сравнение полученных значений методом попиксельного сравнения.

Для сравниваемых изображений вычисляется процент пикселей с одинаковыми значениями и полученный результат сравнивается с пороговым значением по следующей формуле:

$$F_{МПС}(I_1, I_2) = \begin{cases} I_1 = I_2, & \text{если } \frac{N_{ПП}}{h \times w} \times 100 \geq \delta_{ПЗ_2}, \\ I_1 \neq I_2 & \text{иначе} \end{cases} \quad (5)$$

где $F_{МПС}(I_1, I_2)$ – функция сравнения изображений I_1 с I_2 методом попиксельного сравнения; $N_{ПП}$ – количество одинаковых пикселей изображений I_1 и I_2 ; h – высота сравниваемых изображений; w – ширина сравниваемых изображений; $\delta_{ПЗ_2}$ – пороговое значение для метода попиксельного сравнения.

Изображения считаются равными ($I_1 = I_2$), если они соответствуют критериям схожести согласно формул (3) и (5) рассмотренной методики.

Для определения оптимальных пороговых значений $\delta_{ПЗ_1}$ и $\delta_{ПЗ_2}$, тестирования и сравнительного анализа методики, проведен эксперимент.

Набор данных для эксперимента состоял из графических элементов, используемых для нанесения обстановки на топографические карты. Для этого было подготовлено два набора данных. Первый набор данных состоял из изображений графических элементов с размером 29×29 пикселей, второй 300×300 пикселей. Исследуемые данные каждого набора содержали 100 графических элементов, формирующие 5 классов, в зависимости от того, какая фигура преобладала в начертании графического элемента:

- круг (1 класс) – 22 элемента;
- ромб (2 класс) – 19 элементов;
- треугольник (3 класс) – 18 элементов;
- прямоугольник (4 класс) – 21 элемент;
- пересекаемые линии (5 класс) – 20 элементов.

При проведении эксперимента, эталонные изображения (по одному для каждого класса) поочередно сравнивались с каждым графическим элементом из набора данных методом попиксельного сравнения, методом среднеквадратического отклонения и предложенной методикой.

Для сравнения полученных результатов были использованы четыре показателя: правильность (accuracy), точность (precision), полнота (recall), F1-мера (F-measure, мера Ван Ризбергена) [10].

Результаты проведенных исследований представлены в таблице №1 и таблице №2.

В первом столбце таблицы №1 пронумерованы наборы данных в зависимости от параметров пороговых значений. Во втором столбце приведены значения для порогового значения $\delta_{ПЗ_1}$ формулы (3), в третьем – для порогового значения $\delta_{ПЗ_2}$ формулы (5). В остальных столбцах приведены

значения метрик качества, полученные в результате проведенного эксперимента.

Аналогично построена таблица №2, содержащая результаты сравнения изображений по второму набору данных.

Таблица № 1

Результаты сравнения изображений с размером 29×29 пикселей

№ п/п	Пороговое значение, %		Правильность, %	Точность, %	Полнота, %	F1-мера, %
	МСКО	МПС				
1	85	-	58	11	46,1	17,76
2	90	-	79	12,5	33,3	18,18
3	95	-	89	28	33,3	30,42
4	-	80	86	53,8	63,6	58,29
5	-	85	93	90,2	82,9	86,55
6	-	90	91	100	33,3	49,96
7	-	95	91	100	33,3	49,96
8	85	85	97	91,6	83,3	87,25
9	90	85	97	91,6	83,3	87,25
10	95	85	92	80	38,4	51,89
11	85	90	91	100	33,3	49,96
12	90	90	91	100	33,3	49,96
13	95	90	91	100	33,3	49,96
14	85	95	91	100	33,3	49,96
15	90	95	91	100	33,3	49,96
16	95	95	91	100	33,3	49,96

Таблица № 2

Результаты сравнения изображений с размером 300×300 пикселей

№ п/п	Пороговое значение, %		Правильность, %	Точность, %	Полнота, %	F1-мера, %
	МСКО	МПС				
1	85	-	51	16,6	90,9	28,07
2	90	-	57	19,3	63,7	29,62
3	95	-	75	26,3	45,5	33,33
4	-	80	31	13,7	100	24,10
5	-	85	44	16,6	100	28,47
6	-	90	88	55,5	92,3	69,32

№ п/п	Пороговое значение, %		Правильность, %	Точность, %	Полнота, %	F1-мера, %
	МСКО	МПС				
7	-	95	91	100	33,3	49,96
8	85	85	66	24	100	38,71
9	90	85	73	27	84,6	40,94
10	95	85	76	33,3	58,3	42,39
11	85	90	99	100	92,3	96,00
12	90	90	96	100	66,6	79,95
13	95	90	94	100	41,2	58,36
14	85	95	91	100	33,3	49,96
15	90	95	91	100	33,3	49,96
16	95	95	91	100	33,3	49,96

Проанализировав результаты, приведенные в таблице №1 и таблице №2, можно сделать вывод, что с уменьшением размера графических элементов снижается их информативность, что, в свою очередь, негативно отражается на задаче сравнения изображений. Наилучшие результаты были достигнуты при совместном использовании двух рассмотренных методов, что обосновывает использование предложенной методики. По результатам эксперимента оптимальными параметрами для рассмотренной методики являются:

размер графических элементов – 300×300 пикселей;

$\delta_{ПЗ_1}$ – 85%;

$\delta_{ПЗ_2}$ – 90%.

Таким образом, в работе рассмотрена методика сравнения малоинформативных графических изображений, основанная на комбинировании двух методов – методе среднеквадратического отклонения пикселей одного изображения от другого и методе попиксельного сравнения изображений. Экспериментально подобраны оптимальные параметры для работы методики в контексте решения задачи сравнения графических элементов, применяемых в топографических картах. Результаты

проведенных в работе вычислительных экспериментов показали эффективность ее применения для решения поставленной задачи.

Литература

1. Trouvé A., Younes L. Metamorphoses through lie group action // Foundations of Computation Mathematics. 2005. V. 5. № 2. pp. 173-198.

2. Сергеев А.М. О совмещении изображений и способах их реализации // Инженерный вестник Дона, 2022, № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7832.

3. Филиппов М.Ю. Вопросы автоматизации процесса распределения входящих документов в системе электронного документооборота Министерства обороны Российской Федерации // Сборник статей III Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «АСУ, информационно-телекоммуникационные системы». Анапа: 2021. Т.2. С. 147-153.

4. Алгоритм быстрого нахождения похожих изображений. URL: habr.com/ru/post/122372/ (дата обращения 12.01.2023).

5. Gonzalez R., Woods R., Digital image processing. Published by Pearson Education Inc, Publishing as Prentice Hall, 2002. 1072 p.

6. Земцов А.Н., Цыбанов В.Ю. Скремблирование цифровых изображений // Инженерный вестник Дона, 2020, № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N6y2020/6503.

7. Лаврентьев Е.Б., Кирпа В.Э. Метод попиксельного сравнения и распознавания объектов // Молодой исследователь Дона. 2019. № 6. С. 48-53.

8. Панищев В.С., Труфанов М.И., Хасан А.А. Алгоритм извлечения текстурных характеристик изображения // Информационные технологии и математическое моделирование систем. Одинцово: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук, 2020. С. 61-62.

9. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ, 2006. 752 с.
10. Маннинг К., Рагхаван П., Шютцу Х. Введение в информационный поиск. М.: Вильямс, 2011. 528 с.

References

1. Trouvé A., Younes L. Metamorphoses through lie group action. Foundations of Computation Mathematics. 2005. V. 5. № 2. pp. 173-198.
2. Sergeev A.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7832.
3. Filippov M.Ju. Sbornik statej III Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Sostojanie i perspektivy razvitija sovremennoj nauki po napravleniju «ASU, informacionno-telekommunikacionnye sistemy» [Collection of articles of the III All-Russian Scientific and Technical Conference "The state and prospects of development of modern science in the direction of "Automated control systems, information and telecommunication systems"] Anapa, 2021. T.2. pp. 147-153.
4. Algoritm bystrogo nahozhdenija pohozihih izobrazhenij. [Algorithm for quickly finding similar images]. URL: habr.com/ru/post/122372/ (date assessed: 12.01.2023).
5. Gonzalez R., Woods R., Digital image processing. Published by Pearson Education Inc, Publishing as Prentice Hall, 2002. 1072 p.
6. Zemtsov A.N., Tsybanov V.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N6y2020/6503.
7. Lavrent'ev E.B., Kirpa V.Je. Molodoj issledovatel' Dona. 2019. № 6. pp. 48-53.
8. Panishhev V.S., Trufanov M.I., Hasan A.A. Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie sistem: trudy [Proc. International scientific and technical conference «Information technologies and mathematical modeling of systems»]. Odintsovo, 2020, pp. 61-62.



9. Shapiro L., Stokman Dzh. Komp'yuternoe zrenie [Computer vision]. M.: Binom, 2006. 752 p.
10. Manning K., Raghavan P., Shjutcu H. Vvedenie v informacionnyj poisk [Introduction to information search]. M.: Williams, 2011. 528 p.