

УДК 677.024: 519.15

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
АЛГОРИТМОВ ВЫДЕЛЕНИЯ РАПОРТОВ  
ИЗ ТОЧЕЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВТОРОГО КЛАССА**

Г.И. БОРЗУНОВ

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

E-mail: borzunov@mail.ru

*Статья содержит результаты экспериментального исследования зависимости в среднем случае времени выделения раппортов с помощью ранее опубликованных алгоритмов Rpt2, Rpt4 от уровня шума.*

*Article contains the results of an experimental research of dependence of repeats allocation on the average case of time with the help of before published algorithms Rpt2, Rpt4 from a noise level.*

**Ключевые слова:** метод статистического моделирования, алгоритм выделения раппортов, точечные изображения второго класса, ускорение алгоритма Rpt4, уровень шума.

В настоящей работе приводятся результаты вычислительного эксперимента по определению временной сложности ранее опубликованных алгоритмов Rpt2, Rpt4 [1] в ситуации, которую в теории анализа алгоритмов принято называть средним случаем [2]. Точечные изображения второго класса отличаются от изображений первого класса тем, что цвета отдельных точек, одинаково расположенных относительно левого верхнего угла раппорта, но принадлежащих разным раппортам оказываются различными. Эти различия, как правило, бывают весьма незначительными, имеют случайный характер и могут рассматриваться как шум, наложенный на истинное изображение. Такие изображения получаются чаще всего в результате сканирования или с помощью цифрового фо-

тографирования. Далее в работе используются следующие обозначения:  $A[K][K]$  – массив, в котором размещается точечное ахроматическое изображение, то есть элементы  $A$  принимают значения в пределах от 0 до 255;  $N$  – количество раппортов, которые укладываются в исходном изображении;  $Noise$  – дробное число, значение которого заключается в пределах от 0 до 1 и показывает, какая доля пикселей в изображении изменяется. При проведении вычислительного эксперимента использовались ахроматические точечные изображения, генерация которых выполнялась следующим образом. Осуществлялся ввод размерности точечного изображения  $K$  и количества раппортов в этом изображении  $N$ . Распределялась память для массива  $A[K][K]$ , предназначенного для размеще-

ния и хранения кодов точек изображения. После этого левая верхняя область этого массива  $A[K/N][K/N]$ , размер которой совпадал с раппортом генерируемого изображения, заполнялась случайными числами из диапазона от 0 до 255. Далее копиями этой области заполнялся весь массив  $A[K][K]$ . После этого каждая точка в  $A[K][K]$  с вероятностью Noise заменялась на некоторое случайное значение, равномерно распределенное от 0 до 255. Для сравнительного анализа экспериментальной временной сложности алгоритмов

Rpt2, Rpt4 в среднем случае были выполнены измерения числа сравнений (T2, T4) при выделении раппортов и времени (T2 с, T4 с), которое потребовалось для выполнения этой операции (табл. 1). Эти измерения выполнялись при Noise=0,02 и при числе повторений эксперимента в каждой точке, равном 4. В результате этого эксперимента была установлена зависимость временной сложности в среднем случае алгоритмов Rpt2, Rpt4 от параметров K и N.

Т а б л и ц а 1

№	N	K	Rpt2		Rpt4		Ускорение Rpt4		
			T2	T2 с	T4	T4 с	T2/ T4	T2 с/ T4с	
1	5	10	10947	0	899	0,0117184	12,17686	0	
2	5	20	136140	0,0156288	8848	0,003	15,38653	5,2096	
3	5	30	1575586	0,0937472	31264	0,0039072	50,39617	23,99345	
4	5	40	9392885	0,4999936	78159	0,0039072	120,1766	127,9672	
5	5	50	70075207	3,812505	145725	0,0078112	480,8729	488,0819	
6	5	60	230289086	10,01562	272510	0,0195328	845,0666	512,7591	
7	5	70	507441577	17,31251	422689	0,0234368	1200,508	738,6892	
8	5	80	1457284354	59,34374	642937	0,0351552	2266,605	1688,05	
9	5	90	3176871730	107,2813	921130	0,050784	3448,885	2112,502	
10	5	100	6420180834	200,9688	1219983	0,0624992	5262,517	3215,542	
11	5	110	12683986333	390	1655218	0,0937504	7663,031	4159,982	
12	5	120	22691947654	619,5	2239182	0,1171872	10134,03	5286,414	
13	10	20	135299	0,0117184	6440	0,003	21,00916	3,906133	
14	10	30	1605176	0,1015648	22279	0,0039072	72,04884	25,99427	
15	10	40	10063473	0,61328	51148	0,0039072	196,752	156,9615	
16	10	50	47971199	2,855469	102561	0,0078112	467,7333	365,5609	
17	10	60	159990033	9,257812	192391	0,0117184	831,5879	790,0236	
18	10	70	414839178	23,40235	297972	0,0156256	1392,209	1497,693	
19	10	80	974157448	54,125	421790	0,027344	2309,579	1979,41	
20	10	90	2063001319	113,2031	666507	0,0351552	3095,243	3220,095	
21	10	100	3849147294	210,7695	856651	0,0507808	4493,25	4150,575	
22	10	110	7551657142	408,0273	1202427	0,0624992	6280,346	6528,52	
23	10	120	12364898916	651,1914	1562858	0,0859392	7911,723	7577,35	
24	15	30	1636341	0,1093728	20910	0,003904	78,25638	28,01557	
25	15	40	10910661	0,6953152	50650	0,0039072	215,4129	177,9574	
26	15	50	40765268	2,410154	102932	0,0078144	396,0408	308,4247	
27	15	60	130956768	7,61719	191942	0,0117184	682,2726	650,0196	
28	15	70	348232094	19,73828	297383	0,0156224	1170,989	1263,46	
29	15	80	946307907	53,64844	422715	0,027344	2238,643	1961,982	
30	15	90	2038116460	111,8242	669275	0,0351584	3045,26	3180,583	
31	15	100	3782164934	204,0703	864133	0,0468736	4376,832	4353,63	
32	15	110	6996771242	376,332	1206414	0,0664064	5799,644	5667,104	
33	15	120	13027670443	699,5313	1565955	0,0859392	8319,313	8139,84	
34	20	40	10082512	0,640624	51862	0,0039072	194,4104	163,9599	
35	20	50	52371448	3,125002	125230	0,0117184	418,2021	266,6748	
36	20	60	137985031	7,820313	214543	0,0312512	643,1579	250,2404	
37	20	70	386984456	21,99609	280868	0,0156256	1377,816	1407,696	
38	20	80	826124822	45,42969	461659	0,027344	1789,47	1661,413	
39	20	90	1788272315	98,33594	583659	0,031248	3063,899	3146,951	
Средние значения коэффициентов ускорения Rpt4							2368,737	1981,621	

На рис. 1 в качестве примера приводятся графики зависимостей числа сравнений от параметра К при выделении рап-

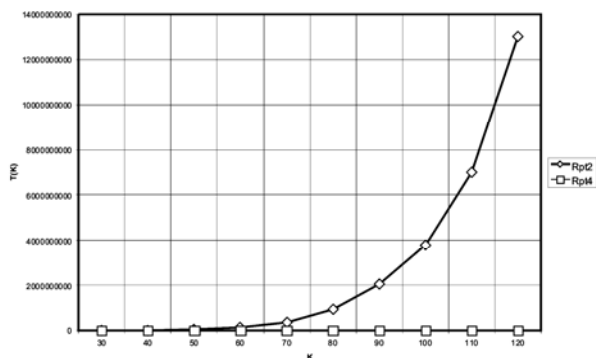


Рис. 1

портов с помощью алгоритмов Rpt2, Rpt4, если N=15 и Noise=0,02.

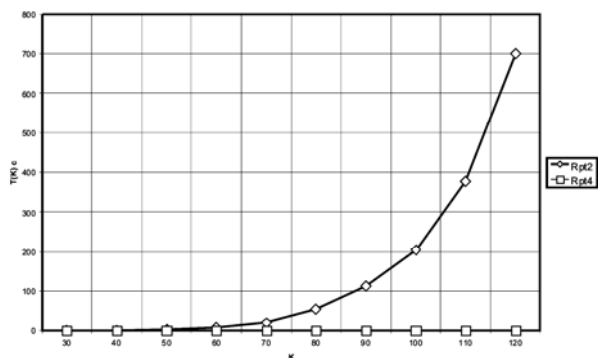


Рис. 2

На рис. 2 представлены зависимости времени выделения раппортов изображений от параметра К, если для выделения раппортов используются алгоритмы Rpt2, Rpt4, а число раппортов в изображениях и коэффициент, определяющий уровень "шума", имеют следующие значения: N=15 и Noise=0,02. Данные вычислительного эксперимента подтверждают результаты теоретического анализа алгоритмов Rpt2, Rpt4: поиск раппорта с помощью алгоритма Rpt4 значительно (на 3 порядка) быстрее стандартного поиска раппорта с помощью алгоритма Rpt2 для любых К. Сравнение графиков, приведенных на рис. 1, 2, приводит к такому же выводу. Поэтому алгоритм Rpt2 может применяться для обработки небольших изображений, например, для обработки изображений, размер-

ность которых не превосходит размерности 80×80. В этом случае выделение раппорта с использованием программной реализации алгоритма Rpt2 в среднем требует не более 60 с. Ввиду ограниченного применения алгоритма Rpt2 далее зависимость временной сложности выделения раппорта от уровня "шума" (параметра Noise) экспериментально исследовалась только для алгоритма Rpt4. Анализ этих результатов показал, что временная сложность выделения раппорта линейно растет с увеличением значения параметра Noise. При этом угол наклона прямой, соответствующей этой зависимости, определяется размерами обрабатываемого изображения: угол наклона увеличивается с увеличением значения параметра К, что наглядно представлено на рис. 3, 4.

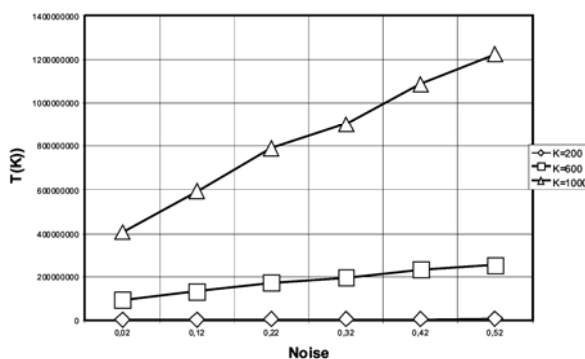


Рис. 3

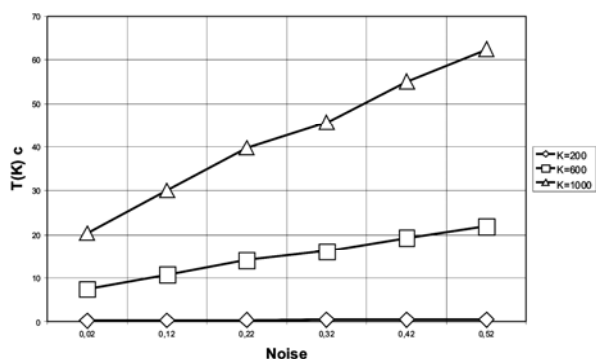


Рис. 4

На этих рисунках представлены зависимости числа сравнений (рис. 3) и времени (рис.4) в среднем случае при выделении раппортов с помощью алгоритма Rpt4 от уровня "шума" при N=100 и числе повторений эксперимента в каждой точке, равном 4. Полученные результаты объясняются тем, что усиление "шума" приводит к увеличению среднего значения функции несовпадения и, следовательно, к увеличению среднего времени вычисления этой функции. В реальной ситуации распределение изменений точек изображений может быть неравномерным. Тогда время поиска раппорта может оказаться большим, чем при равномерно распределенном "шуме". Действительно, пусть максимальное число изменений находится в левом верхнем углу изображения, а минимальное количество измененных точек – в его правом нижнем углу. Ввиду того, что поиск раппорта начинается с левого верхнего угла изображения, то при почти монотонном уменьшении значений функции несовпадения временная сложность выделения раппорта будет приближаться к худшему случаю. Кроме установленного увеличения временной сложности с ростом уровня "шума" в ходе вычислительного эксперимента с алгоритмом Rpt4 были выявлены случаи выделения в качестве раппортов фрагментов изображения, размеры которых превосходят в целое число раз размеры раппорта исходного изображения, на которое накладывался "шум". Такие завышения размеров раппортов происходили начиная с некоторого уровня "шума" и тем чаще, чем выше уровень "шума". Выделения в качестве раппортов фрагментов изображения указанного вида обусловлены принятым критерием нахождения поиска раппортов точечных изображений: прямоугольный фрагмент изображения является

раппортом тогда и только тогда, когда для него значение функции несовпадения оказывается минимальным. Для возможного уменьшения размеров выделенного с помощью алгоритма Rpt4 в качестве раппорта фрагмента точечного изображения можно этот фрагмент дополнительно обработать с использованием алгоритма Rpt2. При этом вновь выделенный фрагмент с использованием алгоритма Rpt2 принимается в качестве раппорта, если при этом функция несовпадения не превышает некоторый порог, значение которого выбирается экспериментально. Дальнейшее снижение временной сложности выделения раппортов может быть достигнуто с использованием средств параллельного программирования.

## ВЫВОДЫ

1. Ускорение алгоритма Rpt4 по сравнению с алгоритмом Rpt2 в среднем случае составляет 2368 при измерениях временной сложности в числах сравнений и 1981 – при измерении временной сложности в секундах.
2. Временная сложность выделения раппорта с помощью алгоритма Rpt4 линейно растет с увеличением уровня "шума".

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Borzunov G. I.* Study of algorithms for recognition of pixel image rapports// Proceedings of higher education institutions. Textile industry technology. – 2009, № 3С. Р.101...103.
2. *Макконелл Дж.* Основы современных алгоритмов. – 2-е доп. изд.. – М.: Техносфера, 2004.

Рекомендована кафедрой информационных технологий и компьютерного дизайна. Поступила 04.02.10.