

АЛГОРИТМ ЯРКОСТНО-КОНТРАСТНОЙ ЛУПЫ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

А. Б. Раухваргер, П. А. Дурандин

*Ярославский государственный технический университет,
Ярославль, Российская Федерация*

Рассматривается алгоритмическая основа разрабатываемого приложения, позволяющего пользователю выделять фрагменты изображения для просмотра не только в увеличенном виде, но и с усилением различимости деталей посредством яркостно-контрастных преобразований. Предложен алгоритм, позволяющий представить выделенный локальный фрагмент изображения в увеличенном и обработанном виде с требуемыми параметрами средней яркости и контраста. Исследованы преимущества предложенного способа обработки изображений по сравнению с глобальными методами, производящими обработку всего изображения. Наибольшие преимущества рассматриваемый подход демонстрирует при выделении слабоконтрастных фрагментов, близких к монотонным, на изображениях, содержащих фрагменты разной степени яркости. С помощью специально разработанной программы проведены эксперименты по обработке различных фрагментов изображений. Приведены примеры результатов. Проанализировано поведение двух типов фрагментов на упрощенных моделях распределения яркостей пикселей, на основании чего сделан вывод о пути дальнейшего совершенствования подхода.

Ключевые слова: цифровые изображения, обработка фрагмента, контраст, яркость, различимость деталей, телевизионный алгоритм, пиксель.

Для цитирования: Раухваргер А. Б., Дурандин П. А. Алгоритм яркостно-контрастной лупы и возможные пути его совершенствования // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 4. С. 29–37. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-4-29-37.

Введение

Известны проблемы, которые возникают при использовании алгоритмов обработки изображений, изменяющих среднюю яркость и контраст изображения, берущих в качестве входных параметров, наряду с яркостями конкретных пикселей, глобальные статистические характеристики изображения [1–3]. Если целью применения этих алгоритмов является усиление различимости деталей изображения, то она может быть достигнута для областей изображения в определенном диапазоне яркости, в других областях может происходить, наоборот, снижение различимости. Кроме того, для изображений, содержащих два резко отличающихся диапазона яркости, после обработки такими алгоритмами различимость деталей может оказаться сниженной во всех областях.

Одно из возможных решений проблемы – создание приложения, в котором пользователь может выделять интересующий его фрагмент изображения, на основе которого будет создаваться новое изображение с применением одного из алгоритмов указанного типа. К этому процессу можно добавить какой-либо из алгоритмов увеличения изображения, если требуется рассматривать слишком малые фрагменты. Такой инструментарий уместно назвать яркостно-контрастной лупой.

Преобразование пикселей выделенного фрагмента

Реализован следующий вариант предлагаемого подхода.

Над копией выделенного фрагмента производится операция, сочетающая телевизионный алгоритм изменения контраста и увеличение средней яркости с задаваемыми коэффициентами, так что каждый пиксель преобразуется по формуле

$$z = q(y + k(y - \bar{y})), \quad (1)$$

где y – яркость пикселя в исходном изображении; z – новая яркость пикселя; \bar{y} – средняя яркость пикселей в исходном изображении; k и q – задаваемые коэффициенты контраста и яркости соответственно, с обычной дальнейшей корректировкой полученных значений: округлением до целых и заменой значений, выходящих из диапазона 0–255 соответствующими граничными значениями.

Выражение $y + k(y - \bar{y})$ в (1) добавляет к значению яркости каждого пикселя величину, пропорциональную ее отклонению от среднего по обрабатываемому фрагменту изображения значения яркости, что дает для пикселей с яркостью больше средней положительную добавку, а для пикселей с яркостью меньше средней – отрицательную. Для изменения средней яркости полученное значение умножается на задаваемый коэффициент q .

Задаваемые параметры в (1) можно связать с исходными и ожидаемыми статистическими характеристиками изображения

$$q = \bar{z} / \bar{y};$$

$$k = \frac{1}{q} \frac{\sigma_z}{\sigma_y} - 1,$$

где \bar{z} – ожидаемая после преобразования средняя яркость пикселей; σ_y – среднее квадратичное отклонение яркостей пикселей в исходном изображении; σ_z – ожидаемое после преобразования среднее квадратичное отклонение яркостей пикселей.

Таким образом, результат обработки зависит от исходных и ожидаемых статистических характеристик фрагмента. Если на слабоконтрастном изображении пиксели с яркостью меньше средней и пиксели с яркостью больше средней достаточно перемешаны друг с другом, то рассматриваемое преобразование может дать значительное усиление различимости деталей и при применении ко всему изображению. Если же на изображении имеются большие области со значительным отличием яркостей между областями, то применение алгоритма ко всему изображению окажется неэффективным. Усилится различие яркостей областей, но внутри областей контрастность практически не изменится или может измениться и в худшую сторону в связи с корректировкой получаемых значений при выходе их за пределы допустимого диапазона. В этом случае предполагается применять рассмотренный алгоритм к отдельным фрагментам в рамках темных или светлых областей для рассматривания неразличимых на исходном изображении деталей.

При необходимости пропорционального вписывания результата в заготовленный на экране контейнер преобразованная копия фрагмента подвергается стандартному алгоритму бикубической интерполяции.

Иллюстрации результатов экспериментов

Проведенные эксперименты над изображениями, слабо реагирующими на глобальные преобразования, показывают эффективность предложенного подхода. Приведем примеры преобразования выделенных фрагментов типичного изображения из исследуемого набора.

На рис. 1 приведено исходное изображение, имеющее очень темную слабоконтрастную область с отдельными светлыми включениями и область средней светлости с хорошо различимыми деталями.



Рис. 1. Исходное изображение

Это изображение подверглось глобальной обработке изменением яркости пикселей по формуле (1), результат представлен на рис. 2.



Рис. 2. Изображение, полученное из исходного глобальным применением алгоритма при $\bar{z} = 70$, $\sigma_{гл,z} = 100$

Различимость деталей улучшилась только в некоторых частях изображения. Темные слабоконтрастные области стали еще темнее и еще более слабконтрастными, наиболее светлая часть области средней яркости стала практически белой, а многие детали исчезли.

На рис. 3–5 приведены различные примеры преобразования отдельных фрагментов исходного изображения (копируемые и обрабатываемые фрагменты выделены белым прямоугольником на исходном изображении).

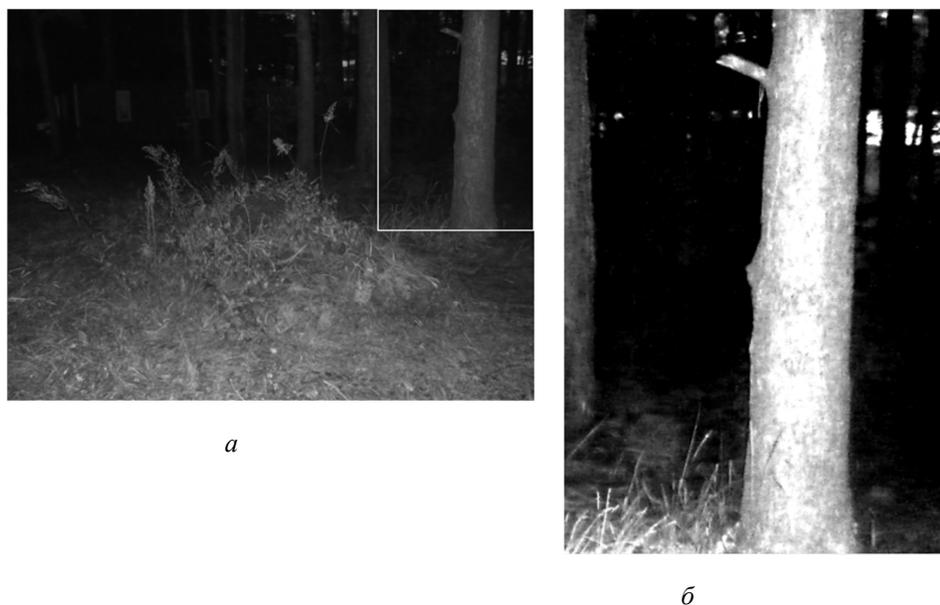


Рис. 3. Обработка фрагмента: *a* – исходное изображение; *б* – обработанная копия выделенного фрагмента при $\bar{z} = 70$ и $\sigma_z = 100$



Рис. 4. Обработка фрагмента: *a* – исходное изображение; *б* – обработанная копия выделенного фрагмента при $\bar{z} = 50$ и $\sigma_z = 100$



Рис. 5. Обработка фрагмента: *a* – исходное изображение; *б* – обработанная копия выделенного фрагмента при $\bar{z} = 80$ и $\sigma_z = 100$

На рис. 3 в обработанной копии фрагмента хорошо различаются детали ствола сосны, отдельные травинки слева от нее, что не проявляется в исходном изображении.

На рис. 4 отчетливо распознаются сосны, дом, задняя часть автомобиля, о чем невозможно было даже догадываться в исходном изображении.

На рис. 5 отчетливо проявляются окна дома, сосны, листва мелких деревьев.

Программа, реализующая предложенный алгоритм обработки выделенного фрагмента, может быть названа яркостно-контрастной лупой.

Анализ эффективности метода на моделях фрагмента

Возможности яркостно-контрастных преобразований цифровых изображений теми или иными методами в значительной степени определяются гистограммами яркости изображений: набор частот значений яркости от 0 до 255. Преобразования по формуле (1) приводят к смещению центра гистограммы (среднего значения яркости) и ее растяжению.

Изображение может содержать пиксели со значениями яркостей всего допустимого диапазона, но в отдельных фрагментах во многих случаях локализируются преимущественно ограниченные диапазоны значений. Именно в таких фрагментах для обеспечения различимости деталей требуется не только увеличение фрагмента, но и яркостно-контрастное преобразование. При слишком большом растяжении новые яркости части пикселей могут выходить за пределы допустимого диапазона и, соответственно, заменяться значениями границ 0 и 255, т. е. такие

пиксели, будучи ранее различимы, станут теперь неразличимыми. Это будет означать, что только часть фрагмента станет более различимой, а на другой части различимость снизится.

Выясним возможности максимального растяжения гистограммы без данного побочного эффекта на моделях двух крайних случаев.

Случай 1. Яркости пикселей фрагментов равномерно распределены в узком диапазоне значений:

$$\omega_y = \begin{cases} 0, & 0 \leq y < y_0 - \frac{l}{2} \\ \frac{1}{l+1}, & y_0 - \frac{l}{2} \leq y \leq y_0 + \frac{l}{2} \\ 0, & y_0 + \frac{l}{2} < y \leq 255 \end{cases}, \quad (2)$$

где ω_y – доля (частота) пикселей фрагмента с частотой y ; l – ширина диапазона яркости на фрагменте.

Если ширина диапазона яркости не слишком велика, такой фрагмент будет представляться на вид слабоконтрастным с ограниченной различимостью деталей.

Пример гистограммы такого фрагмента показан на рис 6.

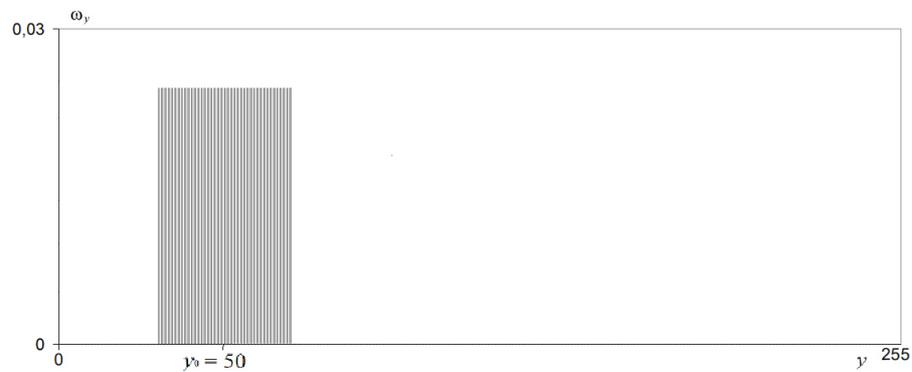


Рис. 6. Исходная яркостная гистограмма, определяемая выражением (2), при $y_0 = 50$, $l = 20$

Максимальное растяжение такой гистограммы без побочных эффектов определяется условием перемещения левой границы ненулевого диапазона гистограммы в положение 0, а правого – в положение 255:

$$z\left(y_0 - \frac{l}{2}\right) = 0; \quad (3)$$

$$z\left(y_0 + \frac{l}{2}\right) = 255, \quad (4)$$

где $z(y)$ – функция, определяемая выражением (1).

Условия (3) и (4), в соответствии с (1) и с учетом того, что в данном случае $\bar{y} = y_0$, позволяют однозначно определить параметры преобразования:

$$q = \frac{127,5}{y_0};$$

$$k = \frac{2}{l}y_0 - 1.$$

Применение (1) с такими параметрами к отличным от нуля значениям яркости приводит к гистограмме, показанной на рис. 7.

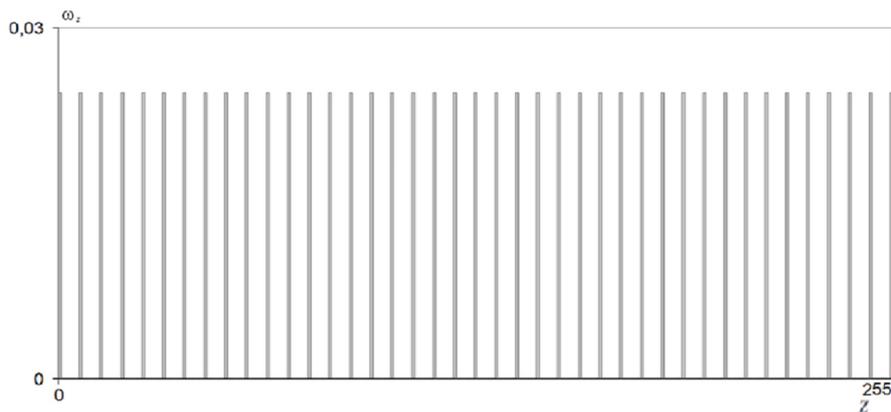


Рис. 7. Ярковая гистограмма, определяемая выражением (2), при $y_0 = 50$, $l = 20$ после преобразования

Значения яркости распределились по всей шкале со значительным увеличением расстояния между соседними значениями, что и приводит к усилению различимости деталей, т. е. в рассмотренном случае метод работает очень хорошо.

Случай 2. На гистограмме фрагмента, взятого для образца, имеются две удаленные друг от друга узкие области с одинаковыми значениями частот (упрощенно – одинаковой ширины по шкале яркости)

$$\omega_y = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & 0 \leq y < y_1 - \frac{l}{2} \\ \frac{1}{2(l+1)}, & y_1 - \frac{l}{2} \leq y \leq y_1 + \frac{l}{2} \\ 0, & y_1 + \frac{l}{2} < y < y_2 - \frac{l}{2} \\ \frac{1}{2(l+1)}, & y_2 - \frac{l}{2} \leq y \leq y_2 + \frac{l}{2} \\ 0, & y_2 + \frac{l}{2} < y \leq 255 \end{array} \right. \quad (5)$$

На рис. 8. приведен пример такой гистограммы.

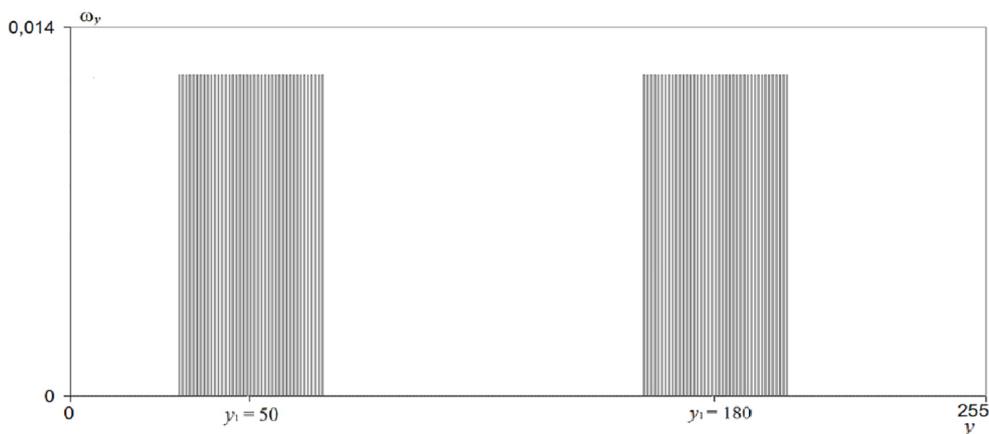


Рис. 8. Исходная ярковая гистограмма, определяемая выражением (5), при $y_1 = 50$, $y_2 = 180$, $l = 20$

Такого рода гистограмма моделирует, в частности, фрагменты, имеющие две слабokon-трастные области, значительно отличающиеся друг от друга яркостью.

Для определения параметров максимального растяжения, вместо (3) и (4), в данном случае следует наложить условия

$$z\left(y_1 - \frac{l}{2}\right) = 0; \quad (6)$$

$$z\left(y_2 + \frac{l}{2}\right) = 255. \quad (7)$$

Условия (6) и (7) определяют для данного случая следующие параметры преобразования:

$$q = \frac{255}{y_1 + y_2};$$

$$k = \frac{2\left(y_1 - \frac{l}{2}\right)}{y_2 - y_1 + l},$$

что для рассмотренного примера дает после преобразования гистограмму, приведенную на рис. 9.

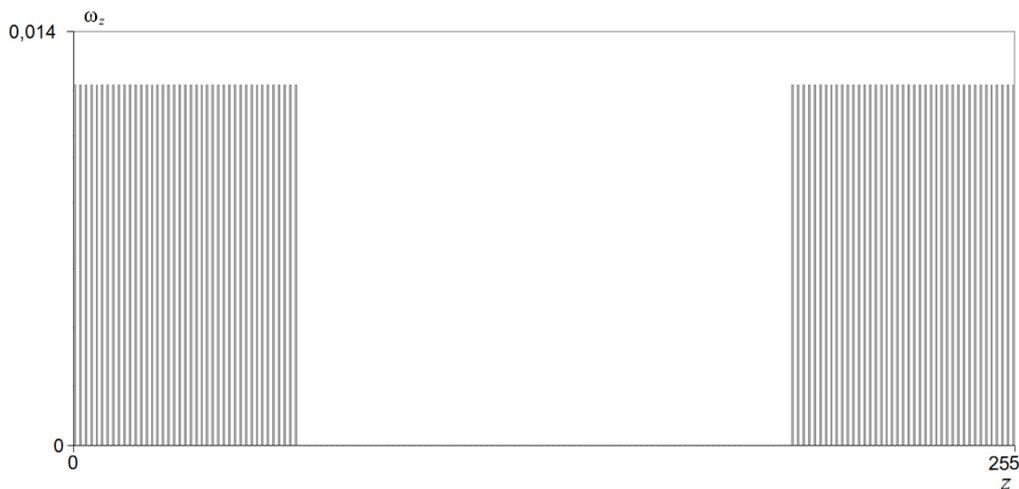


Рис. 9. Яркостная гистограмма, определяемая выражением (5), при $y_1 = 50$, $y_2 = 180$, $l = 20$, после преобразования

Как видно из сравнения рис. 9 с исходной гистограммой на рис. 8, растяжение ненулевых диапазонов частот происходит и в этом случае, но значительно меньше, чем в случае 1.

Таким образом, наилучший эффект достигается для слабоконтрастных фрагментов, яркости пикселей которых лежат в одном достаточно узком диапазоне. Между тем, как видно из гистограммы рис. 9, для фрагментов, содержащих темные и светлые слабоконтрастные части, принципиальная возможность улучшения существует, а именно путем дополнительного растяжения полученных диапазонов во внутреннюю область. Но для этого нужен дополнительный алгоритм. В связи с этим дальнейшее совершенствование рассматриваемого подхода предполагается в направлении разработки автоматической идентификации типа выделенного фрагмента и использования разных способов обработки в зависимости от типа фрагмента.

Заключение

Предложен подход к усилению различимости деталей цифровых изображений, основанный на применении алгоритмов изменения контраста и средней яркости не для всего изображения, а к выделяемым пользователем фрагментам с их увеличением.

С помощью разработанной программы, реализующей преобразование выделенного пользователем фрагмента на основе сочетания телевизионного алгоритма с пропорциональным изменением яркости всех пикселей, исследовано применение рассматриваемого подхода на изображениях, слабо поддающихся обработке глобальным преобразованием. Установлено, что метод эффективен для таких изображений, позволяя пользователю выделять интересующий его фрагмент и задавать параметры обработки. Наибольшее усиление различимости деталей удастся получить для слабоконтрастных фрагментов с небольшим изменением яркости внутри фрагмента.

Установлено, что для фрагментов, содержащих две части, значительно отличающиеся по яркости, различимость можно усилить использованием дополнительных преобразований, что послужит основой для дальнейшего совершенствования подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
2. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений. СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
3. Раухваргер А. Б., Дурдин Д. А. О регулировании контраста черно-белого изображения с использованием нормального закона распределения // Математика и естественные науки. Теория и практика: межвуз. сб. науч. тр. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. Вып. 13. С. 230–236.

Статья поступила в редакцию 18.12.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Раухваргер Алексей Борисович – Россия, 150023, Ярославль; Ярославский государственный технический университет; канд. физ.-мат. наук, доцент; доцент кафедры информационных систем и технологий; abrts@yandex.ru.

Дурдин Павел Алексеевич – Россия, 150023, Ярославль; Ярославский государственный технический университет; магистрант кафедры информационных систем и технологий, направление «Информационные системы и технологии»; durandin.pa@mail.ru.



BRIGHTNESS-CONTRAST MAGNIFIER ALGORITHM AND METHODS OF ITS ENHANCING

A. B. Raikhvarger, P. A. Durandin

*Yaroslavl State Technical University,
Yaroslavl, Russian Federation*

Abstract. The paper considers the algorithmic basis of the developed application, which allows the user to select image fragments for viewing not only in enlarged form, but also with increased detail distinctness through brightness-contrast transformations. There has been proposed an algorithm of upsizing and processing the selected image fragment according to the required parameters of average brightness and contrast. The advantages of the proposed method of image processing in comparison with global methods for processing the entire image are investigated. The considered approach develops the advantages when marking low-contrast fragments that are close to monotone in images with fragments of different brightness. The experiments on processing various fragments of images were

carried out using a specially developed program. The examples of results have been presented. The behavior of two types of fragments on simplified models of pixel brightness distribution has been analyzed, and for this reason there was made a conclusion about further improving the approach.

Key words: digital images, fragment processing, contrast, brightness, element discernibility, television algorithm, pixel.

For citation: Raukhvarger A. B., Durandin P. A. Brightness-contrast magnifier algorithm and methods of its enhancing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2020;4:29-37. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2020-4-29-37.

REFERENCES

1. Gonsales R., Vuds R. *Tsifrovaia obrabotka izobrazhenii* [Digital images processing]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2012. 1104 p.
2. Fisenko V. T., Fisenko T. Iu. *Komp'iuternaia obrabotka i raspoznavanie izobrazhenii* [Computer processing and image recognition]. Saint-Petersburg, Izd-vo SPbGU ITMO, 2008. 192 p.
3. Raukhvarger A. B., Dudin D. A. O regulirovanii kontrasta cherno-belogo izobrazheniia s ispol'zovaniem normal'nogo zakona raspredeleniia [On adjusting contrast of black and white image using normal distribution law]. *Matematika i estestvennye nauki. Teoriia i praktika: mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov*. Iaroslavl', Izdat. dom IaGTU, 2018. Iss. 13. Pp. 230-236.

The article submitted to the editors 18.12.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Raukhvarger Alexey Borisovich – Russia, 150023, Yaroslavl; Yaroslavl State Technical University; Candidate of Physics and Mathematics, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Information Systems and Technologies; abrrs@yandex.ru.

Durandin Pavel Alekseevich – Russia, 150023, Yaroslavl; Yaroslavl State Technical University; Master's Course Student of the Department of Information Systems and Technologies; durandin.pa@mail.ru.

