

УДК 621.391

СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ

О.М. АЛЬМИЯХИ, В.Ю. ЦВЕТКОВ, В.К. КОНОПЕЛЬКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 14 января 2016

Предложен метод сегментации изображений на основе волнового выращивания областей. В отличие от известных методов сегментации предложенный метод позволяет разделять области с плавными перепадами яркости и адаптироваться к ограниченному времени сегментации.

Ключевые слова: сегментация изображений, выращивание областей.

Введение

Сегментация изображений часто используется в обработке видеoinформации. В некоторых случаях время сегментации может быть ограничено. Возможна также необходимость сегментации изображений с плавными перепадами яркости. Известные методы сегментации, основанные на формировании областей с использованием водораздела [1–4], квантовании по гистограмме [5], разделении и слиянии областей с использованием квадрата-дерева [6–8], выращивании областей [9–12], не эффективны в данных условиях. Сегментация с использованием водораздела не обеспечивает выделение плавных перепадов яркости изображений. Сегментация на основе квантования по гистограмме не обеспечивает точное разделение областей из-за присвоения одинаковых номеров сегментам с одинаковой яркостью. Методы на основе разделения и слияния областей с использованием квадрата-дерева и на основе выращивания областей позволяют точно сегментировать изображения, но также не позволяют находить границы областей на плавных перепадах яркости, что приводит к ошибкам сегментации. Кроме того, все рассмотренные методы не обеспечивают адаптацию к ограничениям на время сегментации. В этой связи актуальна задача разработки метода сегментации изображений, учитывающего перечисленные недостатки.

Целью работы является разработка метода сегментации изображений, позволяющего разделять области с плавными перепадами яркости и адаптироваться к ограничениям на время сегментации.

Метод сегментации изображений на основе волнового выращивания областей

Для сегментации изображений предлагается метод на основе волнового выращивания областей. Сущность метода заключается в квазипараллельном выращивании областей вокруг выбранных начальных точек роста, что обеспечивает автоматическое разделение областей с плавным перепадом яркости, которые известные методы сегментируют с ошибками.

Алгоритм сегментации изображений на основе волнового выращивания областей состоит из следующих шагов.

1. Инициализация. На данном шаге осуществляется буферизация изображения $I = \|i(y, x)\|_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$ размером YX пикселей и определение значения порога $\Delta_G = f(I)$, определяющего условие присоединения пикселя к выращиваемой области. Для выбора порога Δ_G может использоваться гистограмма первых производных значений пикселей по строкам и

столбцам. Формируется матрица сегментации $SM = \|sm(y,x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$, элементы которой определяются с помощью выражения

$$sm(y,x) \Leftarrow 0 \quad (1)$$

при $y = \overline{0, Y-1}$, $x = \overline{0, X-1}$.

Счетчику C_{SM} сегментированных значений присваивается значение ноль: $C_{SM} \Leftarrow 0$. Инициализируется нулевой стек коллизий $CM_Y = \|cm_Y(z)\|_{(z=0, \overline{Z_{CM}-1})}$ и $CM_X = \|cm_X(z)\|_{(z=0, \overline{Z_{CM}-1})}$, где $cm_Y(z) \Leftarrow 0$, $cm_X(z) \Leftarrow 0$ при $z = \overline{0, Z_{CM}-1}$, Z_{CM} – максимальное число элементов в стеке. Указатель стека коллизий устанавливается на 0: $z = 0$.

2. Начало цикла сегментации.

Выбор начальных точек роста областей. Для этого могут использоваться, например, локальные максимумы гистограммы значений пикселей изображения, которые соответствуют нулевым значениям в матрице сегментации. Пусть матрицы $BM_Y = \|bm_Y(k)\|_{(k=0, \overline{K_{BM}-1})}$, $BM_X = \|bm_X(k)\|_{(k=0, \overline{K_{BM}-1})}$ содержат координаты начальных точек роста, где K_{BM} – число начальных точек роста.

3. Инициализация стеков $\{GM_Y(k)\}_{(p=0, \overline{K_{GM}-1})}$, $\{GM_X(k)\}_{(p=0, \overline{K_{GM}-1})}$ роста областей, $GM_Y(k) = \|gm_Y(k, p(k))\|_{(p(k)=0, \overline{P_{GM}(k)-1})}$, $GM_X(k) = \|gm_X(k, p(k))\|_{(p(k)=0, \overline{P_{GM}(k)-1})}$. Число стеков совпадает с числом начальных точек роста. В качестве начальных значений в стеки заносятся координаты выбранных начальных точек роста – каждая пара координат в отдельный стек:

$$gm_Y(k,0) \Leftarrow bm_Y(k), \quad (2)$$

$$gm_X(k,0) \Leftarrow bm_X(k) \quad (3)$$

при $k = \overline{0, K_{BM}-1}$.

Указатель каждого стека роста области устанавливается в значение 1: $p(k) \Leftarrow 1$ при $k = \overline{0, K_{BM}-1}$. Счетчику C_{SM} сегментированных значений присваивается число начальных точек роста: $C_{SM} \Leftarrow K_{BM}$. Элементам матрицы сегментации, координаты которых соответствуют координатам начальных точек роста, присваиваются номера сегментов (каждому элементу присваивается неиспользуемый ранее номер):

$$sm(bm_Y(k), bm_X(k)) \Leftarrow (k+1) \quad (4)$$

при $k = \overline{0, K_{BM}-1}$.

4. Инициализация счетчика циклов перебора выращиваемых областей (устанавливается в ноль) $k \Leftarrow 0$.

5. Начало цикла перебора выращиваемых областей.

Из стека роста области, номер которого соответствует значению счетчика циклов перебора выращиваемых областей, извлекаются координаты текущего выращиваемого пикселя, на который указывает значение соответствующего указателя стека. Значение указателя стека уменьшается на единицу:

$$y_B \Leftarrow gm_Y(k, p(k)), \quad (5)$$

$$x_B \Leftarrow gm_X(k, p(k)), \quad (6)$$

$$p(k) \Leftarrow p(k) - 1. \quad (7)$$

6. Инициализация счетчика окрестных пикселей $l \Leftarrow 0$.

7. Начало цикла анализа окрестных пикселей.

На основе координат текущего выращиваемого пикселя вычисляются координаты (y_A, x_A) текущего окрестного пикселя, номер которого определяется значением счетчика окрестных пикселей:

$$y_A = \lceil l/3 \rceil, \quad (8)$$

$$x_A = l - 3y_A, \quad (9)$$

где $\lceil \cdot \rceil$ – операция округления с недостатком.

8. Проверяется на ноль значение элемента матрицы сегментации, координаты которого соответствуют найденным координатам (y_A, x_A) окрестного пикселя. Если это значение не равно нулю ($sm(y_A, x_A) \neq 0$), то переход на шаг 13, иначе ($sm(y_A, x_A) = 0$) – переход на следующий шаг.

9. Абсолютное значение разности значений текущего выращиваемого пикселя $i(y_B, x_B)$ и текущего окрестного пикселя $i(y_A, x_A)$ сравниваются с заданным порогом Δ_G . Если абсолютное значение разности меньше порога ($|i(y_B, x_B) - i(y_A, x_A)| < \Delta_G$ – окрестный пиксель должен быть присоединен к области), то переход на следующий шаг, иначе ($|i(y_B, x_B) - i(y_A, x_A)| \geq \Delta_G$) – переход на шаг 16.

10. Элементу матрицы сегментации, координаты которого соответствуют координатам (y_A, x_A) текущего окрестного пикселя, присваивается значение элемента матрицы сегментации, координаты которого соответствуют координатам (y_B, x_B) текущего выращиваемого пикселя

$$sm(y_A, x_A) \leftarrow sm(y_B, x_B). \quad (10)$$

11. Указатель текущего стека роста области увеличивается на единицу. В текущий стек роста области заносятся координаты (y_A, x_A) текущего окрестного пикселя:

$$gm_y(k, p(k)) \leftarrow y_A, \quad (11)$$

$$gm_x(k, p(k)) \leftarrow x_A, \quad (12)$$

$$p(k) \leftarrow p(k) + 1. \quad (13)$$

12. Значение счетчика C_{SM} сегментированных значений увеличивается на 1: $C_{SM} \leftarrow C_{SM} + 1$. Переход на шаг 16.

13. Проверка коллизии. Сравниваются значения элементов матрицы сегментации, координаты которых соответствуют координатам (y_A, x_A) текущего окрестного пикселя и (y_B, x_B) текущего выращиваемого пикселя. Если эти значения равны ($sm(y_A, x_A) = sm(y_B, x_B)$), то переход на шаг 16, иначе ($sm(y_A, x_A) \neq sm(y_B, x_B)$) – переход на следующий шаг.

14. Абсолютное значение разности значений пикселей изображения, координаты которых соответствуют координатам (y_A, x_A) текущего окрестного пикселя и (y_B, x_B) текущего выращиваемого пикселя, сравниваются с заданным порогом Δ_G . Абсолютное значение разности значений пикселей изображения, координаты которых соответствуют координатам $(bm_y(k), bm_x(k))$ и $(bm_y(s), bm_x(s))$ начальных точек роста рассматриваемых сегментов k и s , также сравниваются с заданным порогом Δ_G . Если абсолютные значения разностей меньше порога ($(|i(y_B, x_B) - i(y_A, x_A)| < \Delta_G) \vee (|i(bm_y(k), bm_x(k)) - i(bm_y(s), bm_x(s))| < \Delta_G)$) – окрестный пиксель должен быть присоединен к данной области, но уже присоединен к другой области – имеет место коллизия), то переход на следующий шаг, иначе – переход на шаг 16.

15. Текущему элементу стека коллизий присваиваются координаты текущего окрестного пикселя и текущего выращиваемого пикселя, указатель стека коллизий дважды увеличивается на единицу:

$$cm_y(z) \leftarrow y_B, \quad cm_x(z) \leftarrow x_B, \quad z \leftarrow z + 1, \quad (14)$$

$$cm_y(z) \leftarrow y_A, \quad cm_x(z) \leftarrow x_B, \quad z \leftarrow z + 1. \quad (15)$$

16. Окончание цикла анализа окрестных пикселей. Счетчик окрестных пикселей увеличивается на единицу: $l \leftarrow l + 1$. Проверяется неравенство значения счетчика окрестных

пикселей и числа окрестных пикселей (8 пикселей). Если счетчик окрестных пикселей меньше 8 ($l < 8$), то осуществляется переход на шаг 7, иначе ($l = 8$) – выход из цикла.

17. Окончание цикла перебора выращиваемых областей. Счетчик циклов перебора выращиваемых областей увеличивается на единицу: $k \leftarrow k + 1$. Проверяется неравенство значения счетчика циклов перебора выращиваемых областей и числа K_{BM} начальных точек роста. Если счетчик циклов перебора выращиваемых областей меньше числа начальных точек роста ($k < K_{BM}$), то осуществляется переход на шаг 5, иначе ($k \geq K_{BM}$) – выход из цикла.

18. Окончание цикла сегментации. Если счетчик C_{SM} сегментированных значений равен числу пикселей сегментируемого изображения ($C_{SM} = YX$), то выход из цикла (сформирована промежуточная матрица сегментации), иначе ($C_{SM} \neq YX$) – переход на шаг 2.

19. Инициализируется результирующая матрица $SM_R = \|sm_r(y, x)\|_{(y=0, \overline{Y-1}, x=0, \overline{X-1})}$ сегментации. Значения матрицы сегментации переносятся в результирующую матрицу сегментации:

$$sm_r(y, x) \leftarrow sm(y, x) \quad (16)$$

при $y = \overline{0, Y-1}, x = \overline{0, X-1}$.

20. Проверка указателя стека коллизий на ноль. Если указатель равен нулю ($z = 0$), то и осуществляется выход из алгоритма, иначе ($z \neq 0$) – переход на следующий шаг.

21. Разрешение коллизий. В стеке коллизий отыскиваются связанные номера сегментов, которым присваиваются новые номера. Эти номера заносятся в результирующую матрицу сегментации. Указатель стека коллизий уменьшается на соответствующее число. Когда указатель стека коллизий равен нулю – осуществляется выход из алгоритма.

В результате выполнения данного алгоритма формируется матрица сегментации, значение каждого элемента которой указывает на номер сегмента, которому принадлежит пиксель сегментируемого изображения с соответствующими координатами. С каждым циклом перебора выращиваемых областей размеры сегментов постепенно увеличиваются, в чем проявляется прогрессивный характер сегментации, осуществляемой предложенным методом. В случае прерывания алгоритма (например, при поиске мелких объектов) часть изображения останется несегментированной, однако будут найдены все доминирующие центры областей и эти области будут равномерно сегментированы. Это позволяет при необходимости а) интерполировать несегментированные области; б) предсказать положение границ в несегментированных областях; в) определить число, местоположение и оценить размеры объектов интереса.

Оценка эффективности алгоритмов сегментации

На рис. 1 показаны результаты сегментации стандартного тестового изображения Lena512 с помощью предложенного метода и методов сегментации на основе выращивания областей и деления и слияния областей.



Рис. 1. Результаты сегментации стандартного тестового изображения Lena: а – результат для предложенного метода; б – результат для метода выращивания областей; в – результат для метода деления и слияния областей

Приведенные результаты не дают, однако, объективной оценки качества сегментации. На рис. 2 приведено тестовое изображение, содержащее 4 области: 2 прямоугольные контрастные области с постоянной яркостью по краям изображения и 2 прямоугольные смежные области в центре изображения с плавно изменяемой яркостью. В начале эксперимента яркости смежных областей отличаются от яркости граничных областей на значение порога, в результате чего в центре изображения образуется резкий перепад яркости и два малых перепада яркости по краям изображения. Сегментация данного изображения предложенным методом и методами на основе выращивания областей, разделения и слияния областей дает одинаковый результат – две сегментированные области. В процессе эксперимента яркости центральных смежных областей плавно меняются по закону, приведенному на рис. 2, в результате чего перепад яркости в центре изображения на границе этих областей становится менее резким. Предложенный метод обеспечивает стабильное положение границы и выделение 2 областей при любом значении перепада яркости (от 255 до 0) в центре изображения. Остальные методы при некоторых значениях перепада яркости в центре тестового изображения показывают ошибку сегментации, выделяя на изображении только одну область. Для метода сегментации на основе выращивания областей это значение равно 126 уровням яркости, а для метода разделения и слияния областей – 114. Таким образом, предложенный метод обеспечивает повышение чувствительности сегментации к перепадам яркости на 1,6 % по сравнению с методом сегментации на основе выращивания областей и на 10,9 % по сравнению с методом разделения и слияния областей.

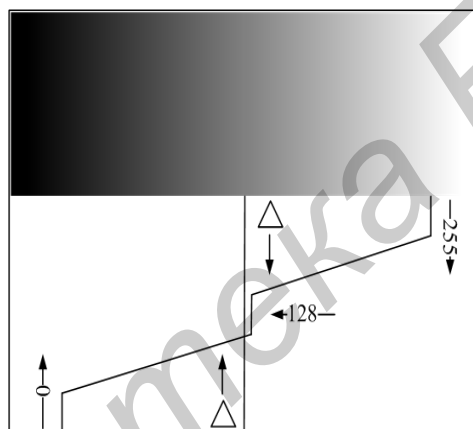


Рис. 2. Распределение яркости тестового изображения

Произведена оценка эффективности предложенного метода прогрессивной сегментации на основе волнового квазипараллельного выращивания областей и известных методов сегментации на основе выращивания областей, разделения и слияния областей. В качестве показателей эффективности использованы время сегментации, стабильность границ и числа сегментов. В таблице приведены результаты оценки времени сегментации для рассматриваемых методов.

Время сегментации тестовых изображений, с

| Методы сегментации | Тестовые изображения | | | | |
|-------------------------------|----------------------|------------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| | Boat 128×128 | Water 128×128 | Lena 256×256 | Barbara 512×512 | France8 1024×1024 |
| Предложенный | 0,111867 | 0,110819 | 0,7586 | 5,8029 | 88,6354 |
| Выращивания областей | 0,439241 | 0,458586 | 0,5269 | 0,8005 | 35,9598 |
| Разделения и слияния областей | 4,3641 | 2,3092 | – | – | – |

Из таблицы следует, что предложенный метод выигрывает в скорости сегментации до 4 раз и 40 раз по сравнению с методами сегментации на основе выращивания областей и разделения и слияния областей при размере изображения 128×128 пикселей, проигрывает в скорости сегментации до 5 раз и 2,5 раз по сравнению с методом сегментации на основе выращивания областей при размерах изображений 512×512 и 1024×1024 пикселей соответственно.

На рис. 3 приведены зависимости площадей сегментов от изменения яркости и поворота изображения, характеризующие устойчивость границ сегментов. Устойчивость оценивается по отношению площадей сегментов для базового изображения к площадям сегментов для модифицированного изображения, подвергнутого изменению яркости, контраста и угла поворота. Установлено, что предложенный метод проигрывает в стабильности площадей сегментов до 7 раз, 6 раз и 6 раз при изменении яркости, контраста и угла поворота по сравнению с методом сегментации на основе выращивания областей. Предложенный метод по сравнению с методом сегментации на основе разделения и слияния областей проигрывает в стабильности площадей сегментов до 3 и 3,5 раз при изменении яркости и контраста, но выигрывает в стабильности площадей сегментов до 2,7 раз при повороте изображения.

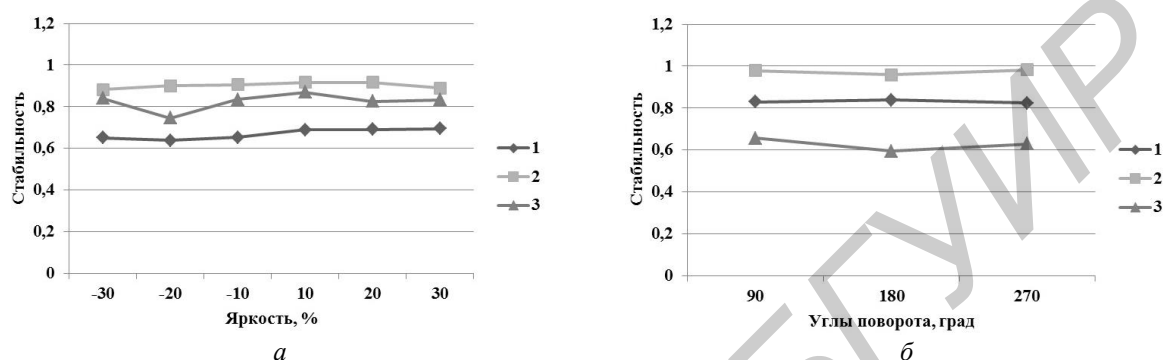


Рис. 3. Зависимости площадей сегментов от изменения условий формирования изображения (1 – предложенный метод; 2 – выращивания областей; 3 – разделения и слияния областей):
a – при изменении яркости; *б* – при изменении угла поворота

На рис. 4 приведены зависимости числа сегментов от изменения яркости, контраста и поворота изображения, характеризующие устойчивость результатов сегментов. Устойчивость оценивается по отношению числа сегментов для базового изображения к числу сегментов для модифицированного изображения, подвергнутого изменению яркости, контраста и угла поворота. Установлено, что предложенный метод выигрывает в стабильности числа сегментов до 3,6 раз, 4,5 раз и 3 раз при изменении яркости, контраста и угла поворота по сравнению с методом сегментации на основе выращивания областей. Предложенный метод по сравнению с методом сегментации на основе разделения и слияния областей выигрывает в стабильности числа сегментов до 4,5 раз, 4,4 раз и 7 раз при изменении яркости, контраста и угла поворота изображения соответственно.

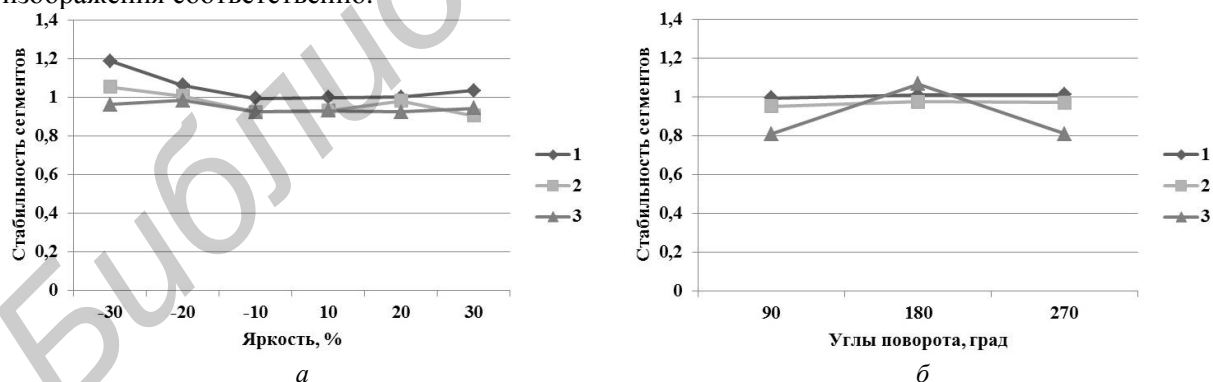


Рис. 4. Зависимости площадей сегментов от изменения условий формирования изображения (1 – предложенный метод; 2 – выращивания областей; 3 – разделения и слияния областей):
a – при изменении яркости; *б* – при изменении угла поворота

Заключение

Для сегментации изображений предложен метод на основе волнового выращивания областей. Сущность метода заключается в квазипараллельном выращивании областей вокруг выбранных начальных точек роста, что обеспечивает автоматическое разделение областей с плавным перепадом яркости, которые известные методы сегментируют с ошибками. Показано,

что предложенный метод обеспечивает повышение чувствительности сегментации к перепадам яркости на 1,6 % и 10,9 % по сравнению с методами сегментации на основе выращивания областей и разделения и слияния областей. Установлено, что предложенный метод проигрывает в стабильности площадей сегментов до 7 раз, 6 раз и 6 раз при изменении яркости, контраста и угла поворота по сравнению с методом сегментации на основе выращивания областей. По сравнению с методом сегментации на основе разделения и слияния областей предложенный метод проигрывает в стабильности площадей сегментов до 3 раз и 3,5 раза при изменении яркости и контраста, но выигрывает в стабильности площадей сегментов до 2,7 раз при повороте изображения. Показано, что предложенный метод выигрывает в стабильности числа сегментов при изменении яркости, контраста и угла поворота до 3,6 раз, 4,5 раз и 3 раз по сравнению с методом сегментации на основе выращивания областей и до 4,5 раз, 4,4 раз и 7 раз по сравнению с методом сегментации на основе разделения и слияния областей. Установлено, что предложенный метод выигрывает в скорости сегментации до 4 раз и 40 раз по сравнению с методами сегментации на основе выращивания областей и разделения и слияния областей при размере изображения 128×128 пикселей.

IMAGE SEGMENTATION BASED ON THE WAVE REGION GROWING

O.M. ALMIAHI, V.Yu. TSVIATKOU, V.K. KANAPELKA

Abstract

A method for segmentation of images based on the wave region growing is suggested. In contrast to known methods of segmentation the proposed method allows to divide the regions with smoothing drops of brightness and adapt to the constraints time of segmentation.

Keywords: image segmentation, regions growing.

Список литературы

1. *Lalitha M., Kiruthiga M., Loganathan C.* // International Journal of Science and Research (IJSR). 2013. Vol. 2, № 2. P. 348–358.
2. *Gauch J. M.* // IEEE transactions on image processing. 1999. Vol. 8, № 1. P. 69–79.
3. *Khiyal M. S. H., Khan A., Bibi A.* // Informing Science and Information Technology. 2009. Vol. 6. P. 876–886.
4. *Arindrajit Seal, Arunava Das, Prasad Sen* // International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT). 2015. Vol. 6, № 3. P. 2295–2297.
5. *Chang, J.H., Fan K.Ch., Chang Y.L.* // Image and Vision Computing. 2002. Vol. 20. P. 203–216.
6. *Muhsin, Z.F., Rehman A., Altameem A. et. al.* // The Imaging Science Journal. 2014. Vol. 62, № 1. P. 56–62.
7. *Xiaolin Wu.* // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 1993. Vol. 15, № 8. P. 808–815.
8. *Dass R., Priyanka, Devi S.* // International Journal of Electronics & Communication Technology (IJECT). 2012. Vol. 3, Issue 1. P. 66–70.
9. *Singh, K.K., Singh A.* // International Journal of Computer Science Issues. 2010. Vol. 7, № 5. P. 414–417.
10. *Shih F. Y., Cheng S.* // Image and Vision Computing. 2005. № 23. P. 877–886.
11. *Sharma Ritu, Sharma Rajesh* // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. 2014. Vol. 2, Issue 9. P. 5686–5692.
12. *Mohd Saad N., Abu-Bakar S.A.R., Sobri Muda et. al.* // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. Hong Kong, 14-16 March 2012. P. 674–677.