

УДК 004.932

## АЛГОРИТМ ЗАВЕРШЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА ЭКЗЕМПЛЯРАХ С ИЗМЕНЕННОЙ ФУНКЦИЕЙ ДОВЕРИЯ

**В.В. Геворгян**

*Российско-Армянский университет*

Завершение (закрашивание) изображений - это процесс восстановления поврежденных или недостающих частей изображения. Результирующее изображение, полученное после закрашивания, должно быть визуально правдоподобным для наблюдателя. Одним из наиболее известных и эффективных алгоритмов в данной сфере является алгоритм завершения изображений, основанный на экземплярах, который был разработан Криминиси и др. Данный алгоритм поблочно заполняет неизвестную область, осуществляя поиск наиболее похожих экземпляров из известной области. Для всех граничных точек, т.е. для тех точек, которые принадлежат неизвестной области и имеют соседние точки из известной области, вычисляется функция приоритета. Далее выбирается блок фиксированного размера, в центре которого точка с наибольшим приоритетом. Его неизвестные точки заполняются. Функция приоритета состоит из двух компонент: функции доверия и функции данных. Функция доверия зависит от количества известных точек в блоке, а также от того, были ли эти точки известны вначале или закрашены в процессе. Функция данных показывает структурные характеристики в данной точке. Восстановление текстурной и структурной информации поврежденного изображения в алгоритме, основанном на экземплярах, сильно зависит от функции приоритета. Значения функции доверия в процессе завершения уменьшаются очень быстро, что в некоторых случаях плохо влияет на итоговый результат. Предлагается во время обновления значений доверия присваивать им фиксированное значение. Как показали эксперименты, данный подход дает лучший результат во многих случаях. Дается реализация предлагаемого подхода и приводятся примеры сравнения данного подхода с первоначальным алгоритмом.

**Ключевые слова:** удаление объектов, закрашивание изображений, завершение изображений.

**Введение.** Старые фотографии со временем начинают портиться, и возникает потребность в их закрашивании. Закрашивание изображений также применяется для удаления объектов, текста из изображений и т.д. Завершение (закрашивание) изображений - это процесс восстановления поврежденных или недостающих частей изображения таким образом, чтобы это было незаметно для обозревателя. Алгоритмы завершения можно разделить на два основных класса: основанные на диффузии и основанные на экземплярах. Алгоритмы, основанные на диффузии [1], в первую очередь распространяют структурную информацию в поврежденную область при помощи процесса диффузии. Данный класс

алгоритмов обычно решает задачу при помощи частных дифференциальных уравнений (ЧДУ). Данный подход дает хороший результат, когда закрашиваемая область мала, но эти алгоритмы не подходят для восстановления больших областей. Алгоритмы, основанные на экземплярах [2], заполняют поврежденную область поблочно. Они ищут подходящие куски для копирования значений из известной области изображения и в состоянии закрашивать большие области.

**Алгоритм закрашивания изображений, основанный на экземплярах с измененной функцией доверия.** Для заданного изображения  $I$  пользователь выбирает целевую область  $\Omega$ , которую следует удалить и закрасить. Граница этой области обозначается через  $\delta\Omega$ . Область источника - эта та область, откуда алгоритм берет значения для завершения изображения, и обозначается как  $\Phi$ . По умолчанию в качестве  $\Phi$  берется оставшаяся часть изображения ( $\Phi = I - \Omega$ ). Размер блока по умолчанию авторы берут  $9 \times 9$  пикселей, но значение этого параметра может быть изменено. Далее алгоритм выполняет следующие шаги, пока все точки не будут закрашены:

1. Определение граничных точек и вычисление функции приоритета для них.
2. Выбор блока с центром в точке с наибольшим приоритетом (целевой блок).
3. Поиск наиболее похожего блока (блок источника) на целевой блок.
4. Копирование значений цвета для неизвестных пикселей из целевого блока значениями пикселей на соответствующих позициях из блока источника.
5. Обновление значений функции доверия (которая входит в функцию приоритета) для только что закрашенных пикселей.

Граничная точка - эта точка, которая принадлежит  $\Omega$  и имеет соседнюю точку из  $\Phi$ . Функция приоритета для таких точек определяется по следующей формуле:

$$P(p) = C(p)D(p), \forall p \in \delta\Omega,$$

где  $C(p)$  - функция доверия:  $C(p) = \frac{\sum_{q \in \Psi_p \cap (I - \Omega)} C(q)}{|\Psi_p|}$ ;  $D(p)$  - функция данных:

$$D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp n_p|}{\alpha}.$$

Здесь  $|\Psi_p|$  - площадь блока  $\Psi_p$  с центром в точке  $p$ ;  $\alpha$  - фактор нормализации (равен 255 для черно-белых изображений);  $n_p$  - единичный вектор, ортогональный к  $\delta\Omega$  в точке  $p$ ;  $\nabla I_p^\perp$  - изофот (линия одинаковой интенсивности) в  $p$ .

Функция  $C(p)$  изначально принимает следующие значения:

$$C(p) = 0, \forall p \in \Omega \text{ и } C(p) = 1, \forall p \in I - \Omega.$$

Функция доверия показывает, насколько надежной является информация вокруг точки  $p$ . Она дает преимущество тем блокам, в которых больше заполненных точек, и чем раньше точка заполнена (или изначально была известной), тем надежнее она.

Функция данных  $D(p)$  нужна для того, чтобы лучше сохранять структурные свойства изображения.

После нахождения целевого блока алгоритм ищет наиболее похожий блок из области источника. Схожесть блоков определяется по следующей формуле:

$$\Psi_q = \arg \min_{\Psi_i \in \Phi} d(\Psi_i, \Psi_q),$$

где  $\Psi_q$  - блок источника;  $\Psi_p$  - целевой блок;  $d$  - функция расстояния (похожести) между блоками. В качестве функции расстояния берется сумма квадратичных разностей цветовых значений известных точек целевого блока с точками на соответствующих позициях блока источника.

Затем для каждого незаполненного пикселя из  $\Psi_p$  копируется значение пикселя на соответствующей позиции из  $\Psi_q$ .

В конце значения функции доверия для только что заполненных точек обновляются следующим образом:

$$C(t) = C(p), \forall t \in \Psi_p \cap \Omega.$$

Значения функции доверия в процессе заполнения для закрашенных точек убывают, показывая, что мы менее уверены в цветовых значениях вокруг центра целевой области. Как показано в [3], значения доверия убывают экспоненциально, и данный факт искажает функцию приоритета. В данной статье предлагается в процессе обновления значений доверия присваивать всем точкам фиксированное значение  $k$  ( $0 < k < 1$ ). Как показали эксперименты, оптимальное значение  $k$  находится в промежутке  $0,75 \dots 0,85$ . Далее проведем сравнение нашего подхода с первоначальным.

**Экспериментальные результаты.** В данной статье реализованы алгоритм закрашивания изображений, основанный на экземплярах, а также его измененная версия. Программа реализована на языке программирования C++ с использованием библиотеки обработки изображений OpenCV [4]. Как показали эксперименты, предлагаемый нами алгоритм дает лучшие результаты во многих случаях. Ниже приведено несколько примеров (рис.1 и 2).



а)

б)

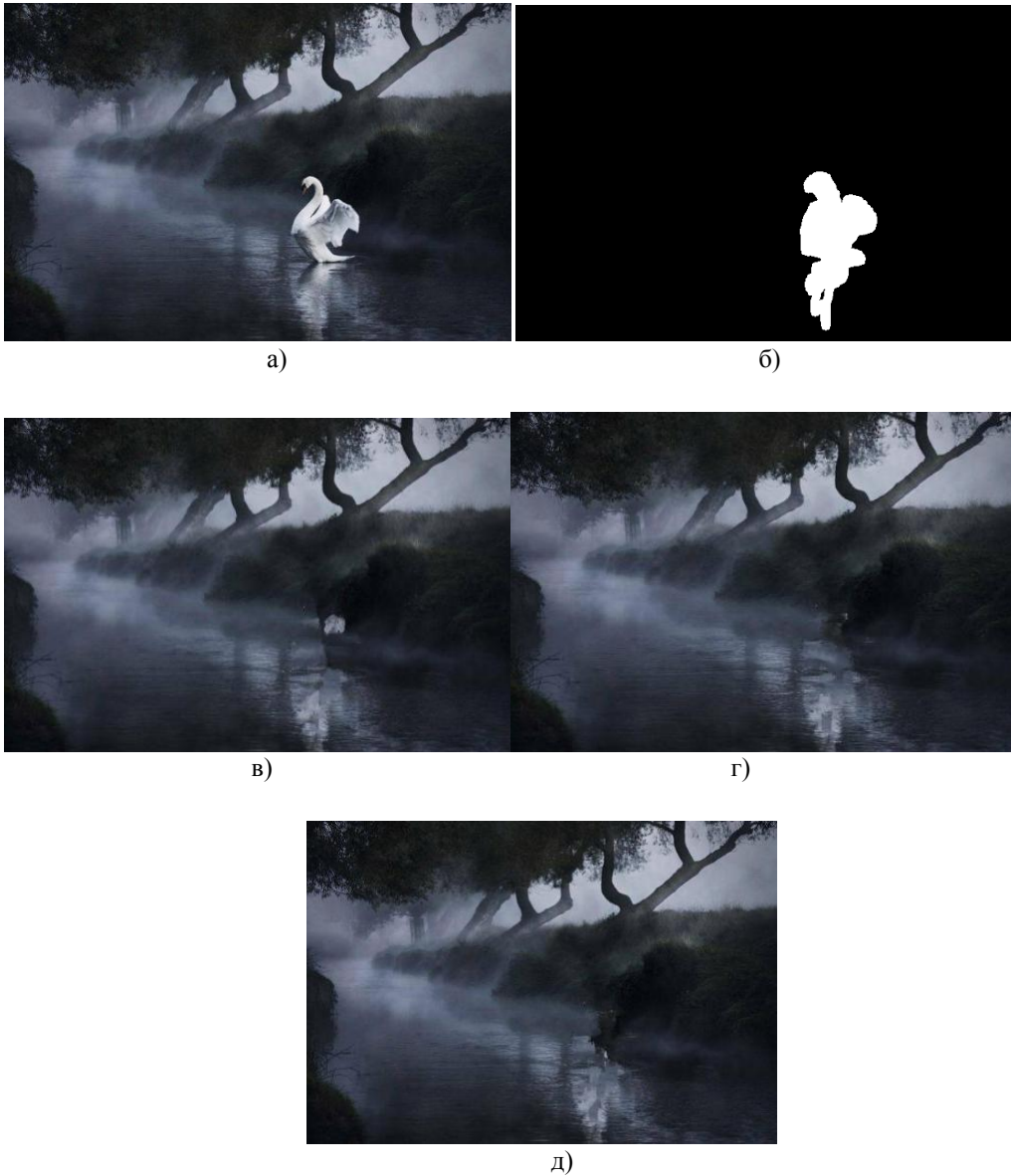


в)

г)

д)

*Рис. 1. Сравнение алгоритмов. Размер изображения 206×308: а - входное изображение; б - маска закрашивания; в - результат Криминиси; г - полученный нами результат при  $k=0,8$ ; д - полученный нами результат при  $k=0,85$*



*Рис.2. Сравнение алгоритмов. Размер изображения 618×412: а - входное изображение; б - маска закрашивания; в - результат Криминиси; г – полученный нами результат при  $k=0,8$ ; д - полученный нами результат при  $k=0,85$*

**Заключение.** Разработан новый подход для алгоритма закрашивания изображений, основанного на экземплярах. В процессе обновления значений функции доверия им присваивается фиксированное значение  $k$ . Приведены результаты сравнения алгоритмов.

## Литература

1. Bertalmio M., Sapiro G., Caselles V., and Ballester C. Image inpainting // Proc. 27<sup>th</sup> Annu. Conf. Comput. Graph. Interact. Techn. - 2000. - P. 417–424.
2. Criminisi A., Perez P., Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting // IEEE Transactions on Image Processing. - 2004.- Vol. 13, No. 9. - P. 1200–1212.
3. Anupam A., Goyal P., and Diwakar S. Fast and enhanced algorithm for exemplar based image inpainting // Proc. Fourth Paci\_c-Rim Symp. Image and Video Technology (PSIVT). - 2010. - P. 325-330.
4. [Online]. Available: <http://opencv.org/>

Поступила в редакцию 04.11.2016.  
Принята к опубликованию 09.12.2016.

## ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ԱՎԱՐՏՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ ՆՄՈՒՇՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ՎԱՏԱՀՈՒԹՅԱՆ ՖՈՒՆԿՑԻԱՅՈՎ

### Վ.Վ. Գևորգյան

Պատկերի ավարտումը (ներկումը) վնասված կամ բացակայող տիրույթների վերականգման պրոցեսն է: Ավարտվելուց հետո ստացված պատկերը պետք է տեսողականորեն ճշմարտանման լինի դիտողի համար: Կրիմինիսիի և այլոց առաջարկած նմուշների հիման վրա ներկման ալգորիթմը ամենահայտնի և արդյունավետ ալգորիթմներից է այդ բնագավառում: Տվյալ ալգորիթմը բլոկներով է լցնում անհայտ տիրույթը՝ որոնելով առավել նման նմուշներ հայտնի տիրույթից: Բոլոր եզրային կետերի, այսինքն՝ այն կետերի համար, որոնք պատկանում են անհայտ տիրույթին և ունեն հարևան կետեր հայտնի տիրույթից, հաշվարկվում է առաջնայնության ֆունկցիան: Ընտրվում է ֆիքսված չափսի բլոկ, որի կենտրոնը ամենամեծ առաջնայնությունով կետ է, և նրա անհայտ կետերը լցվում են: Առաջնայնության ֆունկցիան բաղկացած է երկու բաղադրիչներից՝ վստահության ֆունկցիայից ու տվյալների ֆունկցիայից: Վստահության ֆունկցիան կախված է բլոկում հայտնի կետերի քանակից, ինչպես նաև նրանից, թե արդյոք դրանք հայտնի էին սկզբում կամ էլ հետո են ներկվել: Տվյալների ֆունկցիան ցույց է տալիս կառուցվածքային բնութագրերը տվյալ կետում: Վնասված պատկերի հատկությունների հյուսվածքային և կառուցվածքային վերականգնումը նմուշների հիման վրա ալգորիթմում մեծապես կախված է առաջնայնության ֆունկցիայից: Վստահության ֆունկցիան ավարտելու ընթացքում շատ արագ է նվազում, ինչը որոշ դեպքերում վատ է ազդում վերջնական պատկերների վրա: Առաջարկվում է վստահության ֆունկցիայի արժեքները թարմացնելիս վերագրել դրան հաստատուն արժեք: Ինչպես ցույց են տվել փորձնական արդյունքները, առաջարկված մոտեցումը շատ դեպքերում տալիս է ավելի լավ արդյունք: Ներկայացված է առաջարկվող մոտեցման իրականացումը, բերված են նշված մոտեցման և սկզբնական ալգորիթմի համեմատության մի քանի օրինակներ:

**Առանցքային բաներ.** օբյեկտների հեռացում, պատկերների ներկում, պատկերների ավարտում:

## AN ALGORITHM FOR THE IMAGE COMPLETION BASED ON THE EXAMPLES WITH A CHANGED CONFIDENCE FUNCTION

V.V. Gevorgyan

Image completion (inpainting) is the process of recovering the missing or damaged parts of the image. The resulting image, after completion, should be visually plausible for the observer. The exemplar-based inpainting algorithm proposed by Criminisi et al is one of the most popular and effective algorithms in that sphere. This algorithm fills the unknown region by patches, searching for the most similar patches from the known region. A priority function is calculated for all boundary points, i.e. those points which are from the unknown region and have neighboring points from the known region. A fixed size patch, whose center is a point with the highest priority, is selected, and unknown points from that patch are filled. The priority function consists of two components: confidence term and data term. The confidence term depends on the number of the known points in the patch, as well as whether they were known from the start or were inpainted during the algorithm. The data term shows the structural characteristics in that point. The priority of patches to fill is critical in that algorithm, because due to its texture and structure, the information of the damaged image is recovered. The confidence term, decreases very fast during the update stage and this fact harms the result in some cases. In this paper, we suggest, at updating the values of the confidence term, to update them with a fixed value. As experimental results show, this approach gives better output in many cases. The proposed approach implementation is given and some comparison results of the algorithms are given.

**Keywords:** object removal, image inpainting, image completion.