

Գևորգյան Վահան Վլադիմիրի

ԵՌԱԶԱՓ ԹՎԱՅԻՆ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ INPAINTING ՄԵԹՈՂՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ
ԻՐԱԿԱՆԱՑՈՒՄ

Ե.13.04 «Հաշվողական մեքենաների, համալիրների, համակարգերի և ցանցերի մաթեմատիկական և ծրագրային ապահովում» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան – 2017

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ НАН РА

Геворкян Ваган Владимирович

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ INPAINTING МЕТОДОВ ДЛЯ 3-МЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности

05.13.04 - “Математическое и программное обеспечение вычислительных машин,
комплексов, систем и сетей”

Ереван – 2017

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայ-Ռուսական համասարանում


Գիտական ղեկավար՝	Ֆիզ.մաթ.գիտ. դոկտոր	Հ. Գ.Սարուխանյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝	Ֆիզ.մաթ.գիտ.դոկտոր	Հ.Բ.Մարանջյան
	տեխ.գիտ.թեկնածու	Մ.Ղ.Գյուրջյան

Առաջատար կազմակերպություն՝
Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2017թ. հունիսի 15-ին, ժ. 17:00-ին ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացման պրոբլեմների ինստիտուտում գործող 037 «Ինֆորմատիկա» մասնագիտական խորհրդի նիստում հետևյալ հասցեով՝ Երևան, 0014, Պ. Սևակի 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԻԱՊԻ գրադարանում:
Սեղմագիրը առաքված է 2017թ. Մայիսի 15-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական
քարտուղար, ֆիզ.մաթ.գիտ.դոկտոր



Հ. Գ. Սարուխանյան

Тема диссертации утверждена в Российско-Армянском университете


Научный руководитель:	доктор физ.-мат. наук	А.Г.Саруханян
Официальные оппоненты:	доктор физ.-мат. наук	Г.Б.Маранджян
	кандидат тех. наук	М.К.Гюрджян

Ведущая организация: Национальный политехнический университет Армении

Защита состоится 15-го июня 2017г. в 17:00 на заседании специализированного совета 037 «Информатика» Института проблем информатики и автоматизации НАН РА по адресу: 0014, г. Ереван, ул. П. Севака 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПИА НАН РА.
Автореферат разослан 15-го мая 2017г.

Ученый секретарь специализированного
совета, д.ф.м.н.



А. Г. Саруханян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Обработка цифровых изображений является одним из самых востребованных и быстро развивающихся направлений на сегодняшний день. Сделать удачный снимок достаточно непросто, все сталкивались с ситуацией, когда красивый кадр вдруг был испорчен неожиданно появившимся человеком или другим объектом. Возникает потребность удаления объектов из изображения.

Закрашивание или заполнение изображения - это процесс заполнения недостающих или поврежденных частей изображения. Термин закрашивания (inpainting) произошел с реставрационного искусства, еще со времен эпохи Возрождения. В старых средневековых картинах со временем появлялись пробелы (царапины) и возникла нужда заливать их. Суть закрашивания заключается в заполнении недостающей или поврежденной области не заметным для глаза наблюдателя образом.

Закрашивание цифровых изображений по сей день очень актуальная тема и может применяться, например, для восстановления старых изображений, удаления ненужных объектов, удаления текста, улучшения качества медицинских изображений.

Несмотря на то, что проблема заполнения изображений звучит достаточно просто, решение данной проблемы далеко не тривиально. Так же, алгоритм должен работать эффективно и пользователь не должен долго ждать результата на свой запрос. С одной стороны, заполненное изображение должно быть визуально правдоподобным, с другой стороны алгоритм должен быть эффективным. На сегодняшний день при развитой технике и мульти-мегапиксельных камер быстрое заполнение изображений по-прежнему является сложной задачей.

В последнее время стремительно развиваются 3D технологии и возникает проблема заполнения трехмерных изображений. Большинство алгоритмов заполнения изображений не учитывают 3D свойства изображения, что плохо влияет на результирующее закрашенное изображение.

Цель работы

Цель данной работы является исследование существующих и разработка новых эффективных inpainting методов и алгоритмов, которые учитывают 3D свойства изображений. На основе разработанных методов и алгоритмов создать программное обеспечение для незаметного удаления объектов из изображения.

Методы исследования

В работе использованы методы обработки цифровых изображений, заполнения изображений, поиска наиболее похожих блоков, обнаружения и локализации объектов на изображении. Для разработки программного обеспечения использованы методы объектно-ориентированного программирования и параллельного программирования.

Научная новизна

- Разработана модификация алгоритма Криминиси закрашивания изображений.
- Разработана модификация алгоритма Криминиси, использующая трехмерные свойства изображений для улучшения качества заполнения.
- Разработан эффективный метод заполнения изображения, который адаптивно сокращает область источника, используя статистику сдвигов похожих блоков.
- Предложен метод автоматического нахождения и удаления людей из изображения.

Практическая ценность

На основе разработанных методов создано программное обеспечение для персональных компьютеров. Программа дает возможность пользователю отмечать нежелательную область в изображении и после чего отмеченная область удаляется и заполняется. Программа также предоставляет возможность пользователям автоматически удалять людей из изображения. Разработано приложение и для мобильных устройств, которое дает возможность пользователям на месте из сделанной фотографии удалять нежелательные области.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Модификация алгоритма Криминиси закрашивания изображения, основанного на образцах, которая изменяет значения функции доверия для закрашенных точек, что влияет на порядок закрашивания и улучшает результат.
2. Модификация алгоритма Криминиси, для заполнения стереоизображений, которая использует карту глубины изображения.
3. Модификация алгоритма Криминиси, которая использует статистику сдвигов похожих блоков, что значительно сокращает время выполнения алгоритма и позволяет эффективно реализовать его на мобильных устройствах.
4. Метод автоматического удаления людей из изображения и заполнения удаленной области.
5. Программное обеспечение для удаления объектов из изображения, работающее на персональных компьютерах и мобильных устройствах.

Апробация

Основные результаты и положения диссертационной работы обсуждались и докладывались на семинарах Российско-Армянского университета, представлялись на международной конференции по информационным технологиям и разработки программного обеспечения ИТА 2016 в г. Варна, Болгария и на международной конференции «Применение современных научных методов и технологий в области экспертиз» г. Ереван-Цахкадзор, Армения.

Публикации

Результаты работы отражены в четырех публикациях, список которых приведен в конце автореферата.

Внедрение результатов работы

Результаты работы внедрены в мобильном приложении обработки изображений, разработанном компанией “КБЮБ” ООО с целью эффективного и незаметного удаления объектов из изображений.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы и практическая значимость темы диссертационной работы, кратко изложено состояние предметной области, сформулированы цели и основные задачи исследования, выделены научные результаты, отличающиеся новизной, положения, выносимые на защиту, и приведена практическая ценность полученных результатов. Дается краткий обзор работы.

В главе 1 производится обзор литературы, имеющей отношение к теме диссертации. В литературе чаще всего встречается классификация алгоритмов заполнения двумерных цифровых изображений на следующие два основных типа: основанные на диффузии и основанные на образцах.

Алгоритмы, основанные на диффузии, в первую очередь распространяют структурную информацию в поврежденную область при помощи процесса диффузии, плавно распространяя информацию из границ во внутрь недостающей области. Несмотря на то, что класс алгоритмов, основанных на диффузии, дает хороший результат, когда закрашиваемая область мала, но, в силу процесса диффузии, результирующее изображение получается размазанным, когда поврежденная область велика.

Класс алгоритмов заполнения изображений, основанных на образцах является наиболее эффективным и популярным классом. Алгоритмы, основанные на образцах, заполняют поврежденную область блоками (patch), которые берутся из известной части изображения. Данный класс в состоянии заполнять большие области успешно.

Типичными дефектами после закрашивания изображения являются плохо соединенные края, размазанность. Также алгоритмы закрашивания часто не учитывают глобальных свойств изображения и согласованности между блоками и решают лишь задачу локального минимума. Взамен, те алгоритмы, которые учитывают глобальную согласованность и решают задачу заполнения как оптимизационную задачу достаточно медлительны. Главный недостаток алгоритмов заполнения двумерных изображений, что они не учитывают глубину объектов при заполнении.

В главе рассматриваются более подробно некоторые наиболее популярные методы заполнения двумерных изображений, представленные в работах Криминиси¹, Рекслера², Комодакиса и Барнса³. Рассмотрен метод Ванга⁴ заполнения стереоизображений.

В диссертационной работе мы выбрали и далее модифицировали алгоритм Криминиси закрашивания изображений, основанный на образцах. Рассмотрим данный алгоритм более подробно.

Входное изображение обозначается через I . Пользователь отмечает нежелательную область из входного изображения, которую следует удалить. Пиксели, отмеченные пользователем, удаляются и помечаются как неизвестные. Неизвестная область изображения называется целевой областью и обозначается через Ω . Граница целевой области обозначается через $\partial\Omega$. Область, из известной части изображения, откуда алгоритм берет значения для заполнения изображения, называется областью источника и обозначается через Φ . По умолчанию в качестве Φ берется оставшееся часть изображения: $\Phi = I - \Omega$.

Алгоритм закрашивания изображений основанный на образцах заполняет неизвестную область блоками из области источника. Блок с центром в точке p обозначается через ψ_p . Размер блока по умолчанию берется равным 9×9 пикселей, но значение этого параметра может быть изменено в зависимости от размера изображения и его структурной информации. Алгоритм заполняет неизвестную область итеративно, до тех пор, пока все точки не будут закрашены. На каждой итерации алгоритм выполняет следующие шаги:

1. Находит граничные точки и вычисляет значение приоритета для них.
2. Выбирает граничную точку с наибольшим приоритетом и берет блок с центром в данной точке как целевой блок.
3. Ищет наиболее похожий блок из области источника на целевой блок.
4. Копирует цветовые значения для неизвестных пикселей целевого блока значениями пикселей на соответствующих позициях из блока источника.
5. Обновляет значения функции доверия, которая входит в функцию приоритета, для только что закрашенных пикселей.

¹ A. Criminisi, P. Perez, and K. Toyama, "Object removal by exemplar-based inpainting," in Proc. IEEE Comput. Vis. Pattern Recog., 2003, pp. 721–728.

² Y. Wexler, E. Shechtman, and M. Irani, "Space-time completion of video," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 29, no. 3, pp. 463–476, Mar. 2007.

³ C. Barnes, E. Shechtman, A. Finkelstein, and D. B. Goldman, "PatchMatch: A randomized correspondence algorithm for structural image editing," *ACM Trans. Graphics*, vol. 28, no. 3, 2009.

⁴ L. Wang, H. Jin, R. Yang, M. Gong "Stereoscopic inpainting: Joint color and depth completion from stereo images", Proc. of CVPR, pp.1–8, 2008

Сначала алгоритм находит все граничные точки (фронт заполнения) неизвестной области Ω . Для всех граничных точек вычисляется функция приоритета по следующей формуле:

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

где $C(p)$ называется функция доверия, а $D(p)$ – функция данных и они имеют следующий вид:

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \Psi_p \cap (I - \Omega)} C(q)}{|\Psi_p|}, \quad D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \cdot n_p|}{\alpha},$$

где $|\Psi_p|$ – эта площадь блока Ψ_p с центром в точке p , α – это фактор нормализации (равен 255 для черно-белых изображений), n_p – единичный вектор ортогональный к $\partial\Omega$ в точке p , а ∇I_p^\perp – ортогональный вектор градиент вектора в точке p . Дискретный градиент вектор показывает направление наибольшего пространственного изменения, в то время как его поворот на 90° показывает направление наименьшего пространственного изменения, т.е. является изофотом. Изофот это линия одинаковой интенсивности в изображении. На рис. 1 показаны направления изофотов.



Рис. 1: Изофоты: Красные линии показывают направление изофотов⁵.

В начале алгоритм известным точкам присваивает значение доверия 1, а неизвестным 0:

$$C(p) = 0, \forall p \in \Omega, \quad C(p) = 1, \forall p \in I - \Omega.$$

⁵ Christine Guillemot and Olivier Le Meur. Image Inpainting : Overview and Recent Advances in IEEE Signal Processing Magazine 31(1):127-144 January 2014

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

Функции данных $D(p)$ нужна для того чтоб лучше сохранять структурные свойства изображения. Она дает преимущество тем блокам, в которых изофот «втекает» и тем самым структурные линии плавно распространяются в неизвестную область.

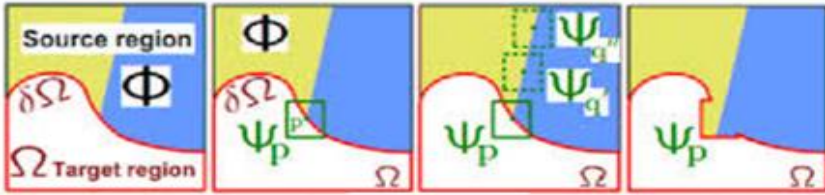


Рис. 2: Процесс закрашивания

Выбирается блок с центром в точке с наибольшим приоритетом, который называется целевой блок. После нахождения целевого блока, алгоритм ищет наиболее похожий блок из области источника, который называется блок источника. Похожесть блоков считается по следующей формуле:

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

где Ψ_q это блок источника, Ψ_p – целевой блок, d – функция расстояния (похожести) между блоками. В качестве функции расстояния берется сумма квадратичных разностей (SSD) цветовых значений известных точек целевого блока с точками на соответствующих позициях блока источника.

Затем для каждого незаполненного пикселя из Ψ_p копируется значение пикселя на соответствующей позиции из Ψ_q . Процесс закрашивания показан на рис. 2. Значения функции доверия для только что заполненных точек обновляются следующим образом:

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

В главе 2 предлагается несколько модификация алгоритма закрашивания изображений, основанного на образцах.

Показывается, что на качество результирующего изображения в алгоритме закрашивания изображений, основанном на образцах, ключевую роль играет порядок заполнения. Порядок заполнения зависит от функции приоритета. Показывается, что значения функции доверия для граничных точек убывают экспоненциально в зависимости от числа итераций и стремятся к нулю, что соответственно плохо влияет на функцию приоритета. Для решения этой проблемы предлагается на каждой итерации алгоритма, после заполнения целевого блока, всем заполненным точкам данного блока присваивать фиксированное значение доверия k . На основе экспериментов по умолчанию выбирается значение $k = 0.8$. На рис. 3 приведен пример закрашивания изображения алгоритмом Криминиси и предложенной модификацией.

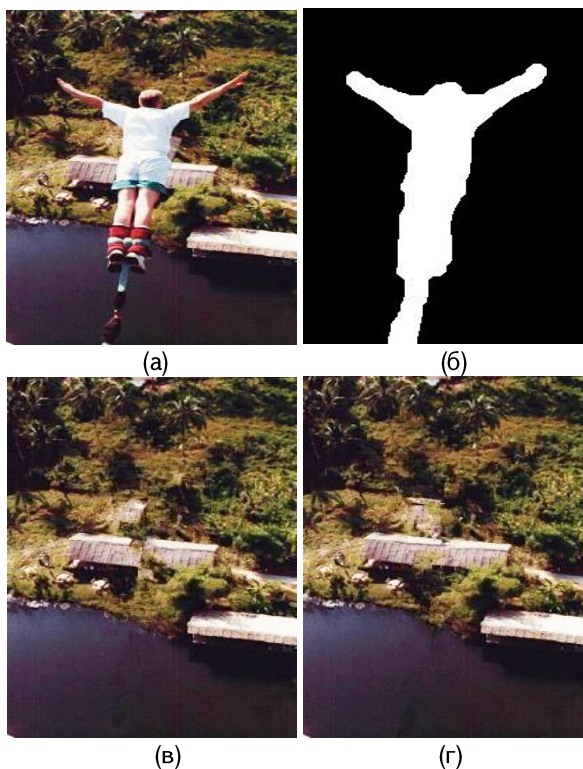


Рис. 3: Сравнение алгоритмов. Размер изображения 206×308 : (а) - входное изображение; (б) - маска закрашивания; (в) - результат Криминиси; (г) - полученный нами результат при $k = 0.8$.

Предлагается модификация алгоритма закрашивания изображения, основанного на образцах, с использованием карты глубины изображения. Карта глубины (depth map) —

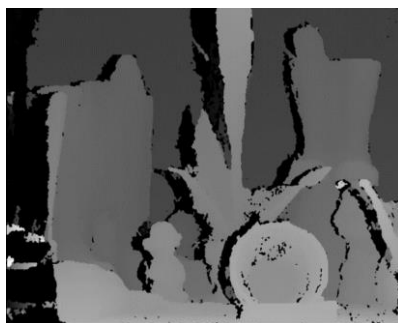
это изображение, на котором для каждого пикселя, вместо цвета, храниться его расстояние до камеры. Описываются методы получения карты глубины изображения.

Предложенная модификация при заполнении старается копировать только значения пикселей заднего фона. В случае удаления объекта из изображения интуитивно понятно, что после удаления останется его задний фон и в процессе заполнения, если брать пиксели из переднего фона, то они испортят заполненное изображение. Пользователь выбирает объект, который следует удалить и стандартный алгоритм генерирует бинарную маску для закрашивания, где значение 0 означает, что соответствующий пиксель принадлежит области источника, а 1 – целевой области. Вместо этого предлагается генерировать тернарную маску, где значения 0 и 1 по-прежнему представляют область источника и целевую область соответственно. В качестве области источника берется задний фон удаляемого объекта (значение 0 в маске), т. е. это те пиксели, у которых глубина больше чем глубина удаляемого объекта, а пикселям с глубиной меньшей чем данный объект (передний фон) присваивается значение 2 в маске закрашивания. Пиксели со значением 2 не рассматриваются алгоритмом при заполнении.

Рассмотрим задачу удаления объекта из изображения: пользователь отмечает нежелательный объект. Отмечая данный объект, он так же задевает соседние пиксели, которые в результате входят в целевую область. Подсчитывая глубину удаленного объекта, вычисляется средняя глубина целевой области, предполагая, что глубина объекта однородна и точки, которые не принадлежат данному объекту в целевой области составляют процентное маленькое соотношение к точкам, принадлежащим объекту. На Рис. 4 показан пример сравнения первоначального алгоритма с предложенной модификацией.



(a)



(б)



(в)



(г)



(д)



(е)

Рис. 4: Пример сравнения алгоритма закрашивания изображений основанного на образцах с предложенным нами подходом: (а) входное изображение; (б) карта глубины; (в) белым цветом помечен удаляемый объект; (г) тернарная маска закрашивания; (д) результат закрашивания оригинальным алгоритмом; (е) результат закрашивания предложенным подходом

В примере размер входного изображения составляет 695×555 пикселей. Время выполнения алгоритма закрашивания изображений основанного на образцах занимает 1.01667 минут, в то время как время выполнения алгоритма с предложенной нами модификацией – 0.266667 минут. Средняя глубина целевой области – 362.306 мм. Качество завершения мы оцениваем при помощи оценки PSNR⁶. Для результата оригинального алгоритма он равен 35.7465, а для предложенного подхода – 38.4639.

В наше время очень развиты мобильные технологии, которые входят во все аспекты нашей повседневной жизни. Для пользователя было бы удобно сделав снимок (фотографию) при помощи своего мобильного телефона (смартфона) или планшета, на месте обработать данное изображение, удалить ненужные объекты из него, например, прохожих на заднем фоне. Следовательно, возникает потребность эффективно

⁶ <http://www.ni.com/white-paper/13306/en/>

заполнять изображение в приложении для мобильных устройств. Однако, алгоритмы заполнения изображений достаточно сложны, а вычислительные способности мобильных устройств значительно уступают вычислительным способностям персональных компьютеров и задача эффективного заполнения изображений для мобильных устройств достаточно сложна.

Предлагается модификация алгоритма закрашивания изображений основанного на образцах, которая значительно сокращает время выполнения и благодаря которой он может быть успешно реализован на мобильных устройствах. Для этого вычисляется множество сдвигов (смещений) наиболее похожих блоков.

Вычисление статистики: Перед началом закрашивания для входного изображения подсчитывается статистика сдвигов (offsets) наиболее похожих блоков для каждого блока. Пусть для блока с центром в точке $p_1 = (x_1, y_1)$ найден наиболее похожий блок с центром в $p_2 = (x_2, y_2)$. Вычисляется сдвиг r между центрами:

$$r(p_1) = (x_1 - x_2, y_1 - y_2).$$

Для каждого блока нахождения наиболее похожего блока это задача нахождения Поля Ближайшего Соседа, которая подробно рассмотрена в данной главе. Для решения этой задачи используются содействующие распространению kd-деревья⁷. Далее для сдвигов наиболее похожих блоков строится гистограмма (т.е. считается сколько раз встречается каждое значение). Выбирается множество K наиболее часто встречающихся сдвигов, которое обозначим через O . В наших экспериментах мы берем значение K равным:

$$K = (n * m) / 100,$$

где n и m количество строк и столбцов входного изображения.

Алгоритм закрашивания изображения основанный на образцах на каждой итерации производит поиск наиболее похожего блока по формуле:

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

Предлагается во время каждой итерации рассматривать только те блоки из области источника, сдвиги которых входят в множество наиболее часто встречающихся сдвигов O :

⁷ K. He and J. Sun, "Computing nearest-neighbor fields via propagation-assisted KD-trees," in *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recog.*, pp. 111–118, 2012

$$\Psi_q = \arg \min_{l \in ASR(p)} d(\Psi_l, \Psi_p),$$

$$ASR(p) = \{q = p + r \mid r \in O, \Psi_q \in \Phi\},$$

где $ASR(p)$ обозначает множество центров блоков допустимых для сравнения с блоком в центре p (allowable source region). Это те точки сдвиг (смещение) которых от точки p принадлежит множеству O и их соответствующие блоки целиком находятся в области источника. На каждой итерации сравнивается не более K блоков, благодаря чему улучшается производительность алгоритма. Так же, благодаря применению статистики в некоторых случаях улучшается и результат закрашивания, т.к. не рассматривается множество ненужных точек.



(а)

(б)



(в)

(г)

Рис. 5: Пример сравнение алгоритмов: (а) входное изображение; (б) маска закрашивания (красным цветом отмечены удаляемые пиксели); (в) результат применения алгоритма Криминиси; (г) результат применения предложенного подхода.

На рис. 5 показан экспериментальный пример сравнения стандартного алгоритма Криминиси с предложенной модификацией. В примере размер входного изображения составляет 366×497 пикселей. Время выполнения алгоритма закрашивания изображений основанного на образцах занимает 0.25 минут, в то время как время выполнения алгоритма с предложенной нами модификацией – 0.05 минут. Для результата оригинального алгоритма PSNR равен 18.3216, а для предложенного подхода – 18.403.

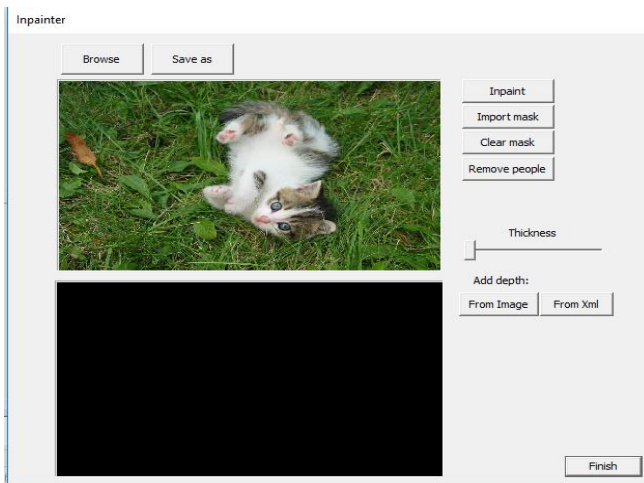


Рис. 6: Пользовательский интерфейс программы закрашивания изображений

В главе 3 описывается реализация предложенных алгоритмов. Разработано программное обеспечение для компьютеров, работающих под управлением операционной системы Windows, которое предназначено для удаления объектов из изображения и заполнения удаленной области. Главное рабочее окно программы показано на рис. 6.

При помощи кнопки **Browse** пользователь выбирает и загружает входное изображение из файловой системы. В центре показано входное изображение. Пользователь с помощью курсора мышки отмечает целевую область, которую хочет удалить из входного изображения. Кнопка **Inpaint** заполняет отмеченную пользователем область, используя модификацию алгоритма закрашивания изображений, основанного на образцах, которая обновляет значения функции доверия для закрашенных точек фиксированным значением. Кнопка **Import mask** позволяет пользователю загрузить собственную маску закрашивания в виде изображения с диска. Кнопка **Clear mask** очищает отмеченную пользователем область и показывает первоначальное изображение. Слайдер **Thickness** контролирует толщину курсора, с помощью которого пользователь отмечает целевую область. Кнопка **From Image** позволяет пользователю добавить информацию о карте

глубины входного изображения, выбрав соответствующее изображение из файловой системы, а кнопка **From Xml** загружает карту глубины из **Xml** файла. Если данная информация указана, то алгоритм заполняет неизвестную область используя карту глубины. Для этого применяется модификация алгоритма, использующая карту глубины. Кнопка **Remove people** находит людей в изображении, в виде прямоугольных областей и заполняет данные области. Кнопка **Save as** записывает заполненное изображение на диск (в файловой системе). Кнопка **Finish** выходит из программы.

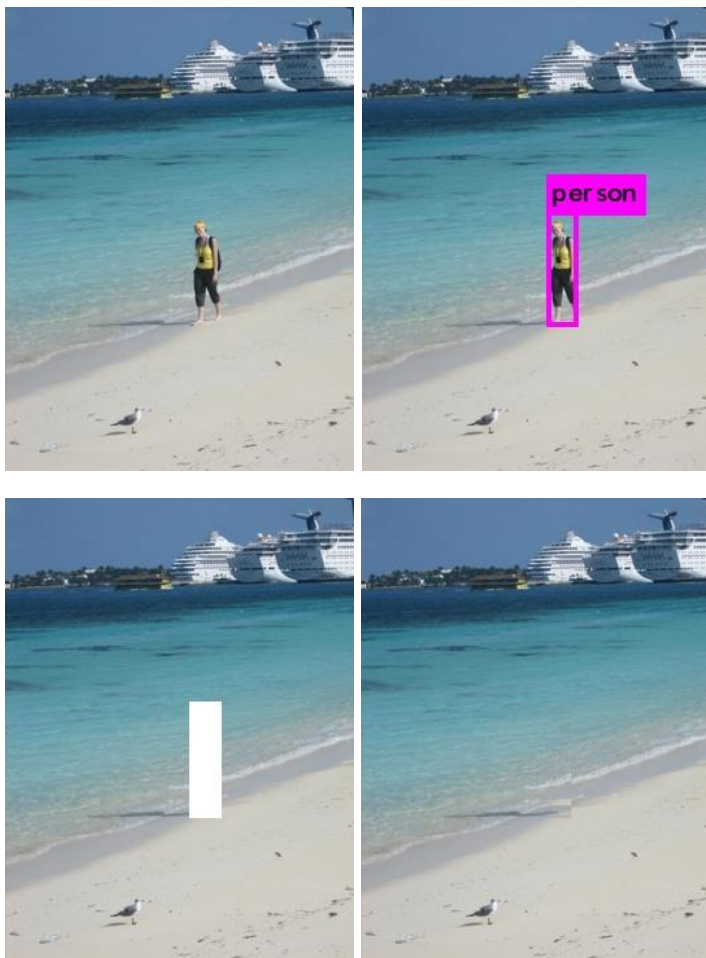
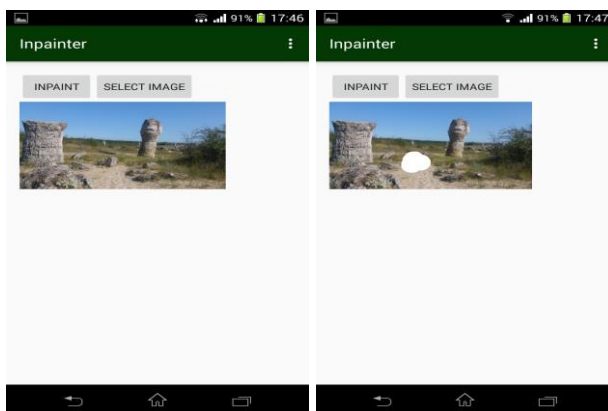


Рис. 6: Пример удаления человека из изображения.

Для нахождения людей в изображении используется библиотека darknet⁸, которая является реализацией yolo (современная система обнаружения объектов в режиме реального времени)⁹ для Windows. На рис. 6 показан пример нахождения человека (взятого в прямоугольнике) и его автоматического удаления.

Описывается приложение для мобильных телефонов или планшетов, работающих под управлением операционной системы Android. Приложение позволяет пользователю выбрать изображение из галереи своего устройства и отметить область или объект, который он хочет удалить. Отмеченная область закрашивается при помощи модификации алгоритма, которая использует статистику похожих блоков. Для имплементации содействующих распространению kd-деревьев мы использовали библиотеку¹⁰, которая является кодом с открытым источником. На рис. 7 показан пример выполнения программы.

В главе также приведено множество экспериментальных примеров для предложенных алгоритмов и их сравнение с первоначальным алгоритмом. Для сравнения результатов используются такие метрики, как PSNR и SSIM.



⁸ <https://github.com/AlexeyAB/darknet>

⁹ <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>

¹⁰ <https://github.com/jOsh/thesis>

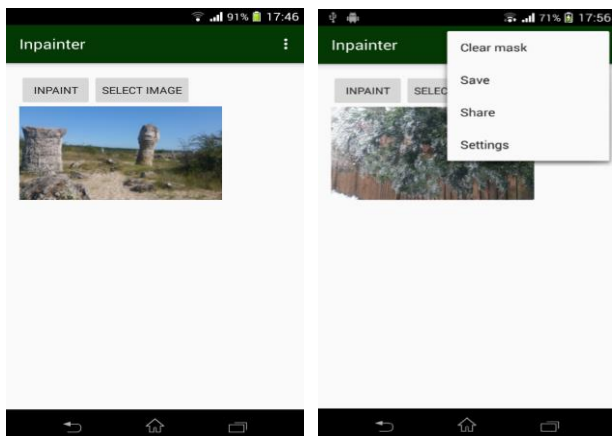


Рис. 7: Пример заполнения изображения при помощи Android приложения.

Заключение. В работе разработаны методы заполнения изображений. Разработан метод, который улучшает результат заполнения, учитывая трехмерную информацию о глубине пикселей в изображении. Предложен также эффективный метод заполнения изображений для мобильных устройств. Разработан метод нахождения и автоматического удаления людей из изображения с использованием нейронных сетей. На основе предложенных методов созданы программное обеспечение для персональных компьютеров и мобильных устройств, для незаметно удаления объектов из изображения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Разработана модификация алгоритма закрашивания изображений Криминиси, которая изменяет значения доверия для закрашенных точек, что влияет на порядок заполнения и качество результата [1].
2. Разработана модификация алгоритма закрашивания изображений Криминиси, которая использует карту глубины изображения. В результате чего изображение рассматривается как трехмерное и заполняется лишь точками заднего фона, что улучшает результат [2].
3. Разработана модификация алгоритма закрашивания изображений Криминиси, которая для повышения эффективности использует статистику сдвигов похожих блоков [3].
4. Разработан метод автоматического удаления людей из изображения, который использует имплементацию сверточных нейронных сетей для нахождения людей в изображении и предложенную модификацию алгоритма закрашивания для их удаления [4].
5. Программное обеспечение для незаметного удаления объектов из изображения, работающее на персональных компьютерах и мобильных устройствах [1-4].

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

[1] В. Геворкян. Алгоритм завершения изображений, основанный на экземплярах с измененной функцией доверия, in Proceedings Of National Polytechnic University of Armenia, Information Technologies, Electronics, Radio Engineering, № 2, pp. 49-56, Yerevan, Armenia, 2016.

[2] Vahan Gevorgyan Vladimir, Aram Gevorgyan Vladimir, Gevorg Karapetyan Arakel. Exemplar based inpainting using depth map information, ITHEA Journal, "Information Theories and Applications", Vol. 23, Number 3, pp. 273-281, Bulgaria, 2016.

[3] Vahan V. Gevorgyan, Gevorg A. Karapetyan and Hakob G. Sarukhanyan. Modification of Exemplar Based Inpainting Algorithm for Mobile Devices Using Statistics of Patch Offsets, Mathematical Problems of Computer Science 44, pp. 67-76, Yerevan, Armenia, 2015.

[4] Геворкян В.В. Алгоритм автоматического удаления людей из изображения, Magyar Tudományos Journal, No 6, pp. 75-78, Budapest, Hungary, 2017.

Resume

Vahan Gevorgyan

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF INPAINTING METHODS FOR 3D DIGITAL IMAGES

Digital image processing is one of the most popular and developing areas nowadays. It is not easy to take a successful picture and some objects or people may spoil the picture. There is need to remove objects from the image.

Image inpainting or completion is the process of filling in the missing or damaged parts of the image. Term inpainting comes from medieval art restoration where pictures were restored by filling-in any gaps or scratches to bring them “up to date”. The goal of inpainting is to replace the missing region in such a way that it will be not observable for a viewer that there is something wrong with the image.

Image inpainting today is a very actual problem and have such applications as recovery of old images, unnecessary object removal, text removal or improve quality of medical images.

Although stating the image completion problem is very simple, the actually solution of it is far from being a trivial thing. On the one hand, the completed image must be visually plausible, on the other hand, the algorithm must be efficient and a user should not wait long for the result. Today with advanced technologies and multi-megapixel cameras, fast image completion is still a challenging problem.

3D technologies have become very popular and are rapidly developing and there is need of inpainting using image 3D information. Most of image completion algorithms does not take into account image 3D characteristics, which harms the result.

The aim of this thesis is to research existing inpainting methods and to develop new effective methods and algorithms, which take in account image 3D properties. To create a software based on the developed methods and algorithms for unnoticeably removing objects from the image.

Scientific novelty

- The modification of exemplar based Criminisi inpainting algorithm that improves the quality of result by changing the confidence term is developed.
- The modification of exemplar based Criminisi inpainting algorithm, which use image 3D characteristics and improves quality of inpainted image is developed.
- An effective image inpainting method, which adaptively reduces the source region by using similar patch offset statistics is developed.
- Automatically detecting and removing people from the image method is introduced.

Applicability of the results

On the basis of developed methods software for personal computers is created. The program allows users to select unwanted region in the image and to remove it. The software also allows users to automatically remove people from the image. Mobile application is developed, which allows users to remove unwanted objects from the taken photo immediately.

The following statements are presented for defense:

1. Modification of exemplar based image inpainting algorithm, which improves the result by updating confidence term values with fixed value.
2. Modification of exemplar based image inpainting algorithm, for stereo images, which uses image depth map.
3. Modification of exemplar based image inpainting algorithm, which uses the most similar patch offsets statistics. The modification significantly reduces the execution time and allows to implement the algorithm on mobile devices
4. Method of automatically removing people from image and inpainting the removed region.
5. Software for unnoticeably removing objects from the image working on personal computers and mobile devices.

Ամփոփում

Վահան Գևորգյան

ԵՌԱԶԱԲ ԹՎԱՅԻՆ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ INPAINTING ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ և ԻՐԱԿԱՆԱՑՈՒՄ

Թվային պատկերների մշակումը հանդիսանում է ներկայիս ամենապահանջված և արագ զարգացող ուղղություններից մեկը: Հաջողված նկար ստանալն այնքան էլ հեշտ չէ. երևի բոլորն էլ գտնվել են մի իրավիճակում, երբ գեղեցիկ կադրը փչանում է հանկարծակի հայտնված մարդու կամ այլ օբյեկտի պատճառով: Անհրաժեշտություն է առաջանում պատկերից հեռացնել անցանկալի օբյեկտները:

Պատկերի ներկումը կամ համալրումը պատկերի բացակայող կամ վնասված մասերի լրացման պրոցես է: Ներկում (inpainting) տերմինը առաջացել է դեռ Վերածնունդի ժամանակաշրջանից: Հին միջնադարյան նկարներում ժամանակի ընթացքում գոյանում էին վնասվածքներ, բացատներ ճեղքերի տեսքով և առաջանում էր այդ բացերը լցնելու, լրացնելու անհրաժեշտություն: Ներկման իմաստը կայանում է բացակայող կամ վնասված տիրույթների այնպիսի լրացման մեջ, որ կամայական կողմնակի անձ չնկատի կեղծիքը:

Թվային պատկերների ներկումը մինչ այսօր շատ արդիական է և կարող է կիրառվել օրինակ հին, մաշված նկարներ վերականգնելու, կամայական նկարից անցանկալի օբյեկտներ, տեքստ հեռացնելու, բժշկական նկարների որակը բարձրացնելու համար:

Չնայած բավականին պարզ է հնչում պատկերի ներկման խնդիրը, լուծումը բոլորովին ակնհայտ չէ: Մի կողմից պատկերի ներկումը պետք է լինի որքան հնարավոր է ճշմարտամոտ, մյուս կողմից ալգորիթմը պետք է լինի արդյունավետ և օգտագործողը չպետք է երկար սպասի արդյունքին: Այսօր էլ զարգացած տեխնիկայի պարագայում նկարների արագ լրացման խնդիրը մնում է բարդ մարտահրավեր:

Վերջին ժամանակների 3D տեխնոլոգիաների սրընթաց զարգացման հետ մեկտեղ առաջանում է նաև եռաչափ պատկերների ներկման խնդիրը: Ներկման ալգորիթմների մեծ մասը հաշվի չի առնում պատկերի 3D հատկությունները, ինչը վատ է անդրադառնում վերջնական արդյունքի վրա:

Ատենախոսության նպատակն է ուսումնասիրել արդեն գոյություն ունեցող inpainting մեթոդները, մշակել նոր արդյունավետ մեթոդներ և ալգորիթմներ, որոնք հաշվի են առնում պատկերի նաև 3D հատկությունները: Մշակված մեթոդների և ալգորիթմների հիման վրա ստեղծել ծրագրային ապահովում պատկերներից օբյեկտների աննկատ ջնջելու համար:

Գիտական նորոյթը

- Առաջարկվել է պատկերների ներկման Կրիմինիսիի ալգորիթմի մոդիֆիկացիա, որը լավացնում է ներկման արդյունքի որակը:
- Առաջարկվել է պատկերների ներկման Կրիմինիսիի ալգորիթմի մի տարբերակ, որն օգտագործում է պատկերների եռաչափ հատկությունները:
- Առաջարկվել է պատկերների լրացման արդյունավետ ալգորիթմ, որը հարմարվողականորեն կրճատում է աղբյուրի տիրույթը՝ օգտագործելով նման բլոկների շեղումների վիճակագրությունը:
- Առաջարկվել է պատկերներից ավտոմատ կերպով մարդկանց հայտնաբերելու և հեռացնելու մեթոդ:

Արդյունքների կիրառական նշանակությունը

Մշակված մեթոդների հիման վրա ստեղծվել է ծրագրային ապահովում համակարգիչների համար: Վերջինիս միջոցով օգտագործողը պատկերի վրա կարող է նշել և հեռացնել իր համար անցանկալի տիրույթը: Ծրագրային ապահովման միջոցով հնարավոր է նաև ավտոմատ կերպով պատկերից հեռացնել մարդկանց: Ծրագրային ապահովում է ստեղծվել նաև շարժական սարքերի համար, ինչի շնորհիվ օգտագործողը տեղում արված նկարից կարող է հեռացնել անցանկալի հատվածները:

Պաշտպանությանը ներկայացվող դրույթները

1. Նմուշների հիման վրա պատկերների ներկման ալգորիթմի մոդիֆիկացիա, որը լավացնում է արդյունքը թարմացնելով վստահության արժեքները հաստատուն արժեքով:
2. Նմուշների հիման վրա պատկերների ներկման ալգորիթմի մոդիֆիկացիա, ստերեոպատկերները լրացնելու համար, որն օգտագործում է պատկերների խորության քարտեզը:
3. Նմուշների հիման վրա պատկերների ներկման ալգորիթմի տարբերակը շարժական սարքերի համար:
4. Պատկերներից մարդկանց ավտոմատ կերպով հեռացնելու և հեռացված տիրույթը լրացնելու մեթոդ:
5. Պատկերներից օբյեկտներ հեռացնելու ծրագրային ապահովում ստացիոնար համակարգիչների և շարժական սարքերի համար: