

Для цитирования: С.И. Короткевич, Ю.В. Минаева. Алгоритм коррекции карты глубины изображения с учетом яркости точек и их удаленности от точки наблюдения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(3): 82-92. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-82-92

For citation: S.I. Korotkevich, Yu.V. Minaeva. Algorithm for correcting the image depth map based on the points brightness and their distance from the observation point. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (3): 82-92. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-82-92

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

УДК 004.021

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-3-82-92

АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ КАРТЫ ГЛУБИНЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ЯРКОСТИ ТОЧЕК И ИХ УДАЛЕННОСТИ ОТ ТОЧКИ НАБЛЮДЕНИЯ

С.И. Короткевич, Ю.В. Минаева

Воронежский государственный технический университет,
394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14, Россия

Резюме. Цель. Моделирование головы человека является важной проблемой, возникающей в самых разных областях науки и техники. Существующие активные технологии реконструкции и моделирования исследуемого объекта требуют наличия дорогостоящего оборудования и подготовленного персонала. **Метод.** Альтернативой является использование пассивных методов, выполняющих обработку изображений с помощью специальных математически алгоритмов. Одним из таких методов является стереозрение, основанное на использовании парных снимков, сделанных одновременно с помощью нескольких, определенным образом, расположенных и откалиброванных камер. Однако общим недостатком методов стереозрения является возможность получения ошибочных карт глубины изображения из-за некачественных исходных снимков или неправильно установленных параметров камер и освещения. **Результат.** Разработаны процедуры, использующие дополнительные параметры точек изображения, с помощью которых можно проводить коррекцию карт глубины для исключения появления дефектов на них. Для достижения поставленной цели проведен анализ существующего математического обеспечения для обработки фото- и видеоматериалов; предложены методы подавления шумов на изображении, получения контура изображения, а также методика получения трехмерной матрицы объекта, основанная на изменении направленности освещения; апробирована работа алгоритма на тестовом примере. **Вывод.** Разрабатываемая методика должна улучшить качество карты глубины обрабатываемого изображения и, тем самым, сделать процедуры моделирования более эффективными.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, виртуальная модель, моделирование человеческого лица, обработка изображений, стереозрение, карта глубины

ALGORITHM FOR CORRECTING THE IMAGE DEPTH MAP BASED ON THE POINTS BRIGHTNESS AND THEIR DISTANCE FROM THE OBSERVATION POINT

S. I. Korotkevich, Yu. V. Minaeva

Voronezh State Technical University,
14 Moskovsky Ave., Voronezh 14394026, Russia

Abstract. Objective. Modeling the human head is a significant problem that arises in a wide variety of fields of science and technology. Existing active technologies for reconstruction and modeling of the object under study require expensive equipment and trained personnel. **Methods.** An alternative is to use passive methods that perform image processing using special mathematical algorithms. One of these methods is the stereo vision, which is based on the use of paired images taken

*simultaneously with several cameras positioned and calibrated in a certain way. However, a common drawback of stereo vision methods is the possibility of obtaining erroneous depth maps due to poor-quality source images or incorrect camera and lighting settings. **Results.** Procedures were developed that use additional parameters of image points, which can be used to correct depth maps to avoid the appearance of defects. To achieve this objective, the existing mathematical software for processing photo and video materials is analyzed; methods for suppressing noise in the image, obtaining an image contour, as well as a method for obtaining a 3D object matrix based on changing the direction of illumination are proposed; the algorithm is tested on a test example. **Conclusion.** The developed technique should improve the quality of the depth map of the processed image and thus make the modeling procedures more efficient.*

Keywords: 3D modeling, virtual model, human face modeling, image processing, stereo vision, depth map

Введение. В связи с быстрым развитием мультимедиа-технологий на первый план во всех отраслях науки и производства выходят методы визуализации и виртуального исследования объектов. Особенно широко такие методы используются в кино- и видеоиндустрии, архитектуре, строительстве, промышленности, медицине и т.д. Отдельным классом задач моделирования, для которого разработаны специальные методы, является моделирование головы человека.

Существующие технологии реконструкции и моделирования человеческого лица в зависимости от способов получения и обработки изображений можно разделить на два класса – активные и пассивные [1, 2]. Активные системы предполагают использование дорогостоящего оборудования (томографов, трехмерных сканеров, лазерных сканирующих систем и т.д.) и имеют ограничения, связанные с достаточно большими дозами облучения исследуемых объектов. Пассивное моделирование основано на использовании одного или совокупности нескольких фотоснимков, поэтому не является таким трудо- и ресурсозатратным. Наиболее распространенными методами пассивного моделирования является стереозрение.

В технологии стереозрения используются парные снимки (или их последовательность), полученные с помощью двух специальным образом расположенных камер [3-6]. На данных снимках устанавливается расположение одних и тех же точек и по их смещению друг относительно друга определяется расстояние между ними. Такой подход позволяет реконструировать геометрическую форму исследуемого объекта и его расположение относительно других объектов.

Постановка задачи. Ключевым этапом алгоритмов стереозрения является построение карты глубины – матрицы, в которой каждому пикселю присваивается дополнительный параметр – расстояние от плоскости изображения до данного пикселя. Существующие методы по вычислению карты глубины используют принцип «скользящего окна», согласно которому на втором снимке производится поиск области, уже найденной на первом изображении [7-10]. Однако карты глубины, полученные с помощью таких методов, в некоторых случаях могут обладать следующими дефектами:

- случайные шумы на изображении;
- разные величины глубины у точек одного уровня;
- сильные шумы на границах объектов.

Причинами появления дефектов являются неточная калибровка камер, различная освещенность парных снимков или их недостаточное качество.

Для устранения данных недостатков в статье предлагается проводить коррекцию карты глубины с учетом яркости точек изображения и их отдаленности от точки наблюдения. Такой подход позволит вычислить ориентировочные высоты всей поверхности и получить полную трехмерную матрицу объекта.

Методы исследования. 1. Описание методики.

Предлагаемая методика обработки исходных видеоданных состоит из нескольких этапов:

1. Шумоподавляющая фильтрация изображения.
2. Определение карты высот поверхности по световым бликам в узловых точках.
3. Выделение контура объекта (лица).
4. Вычисление карты высот всей поверхности объекта по яркостной картине.
5. Коррекция карты глубины.

1.1 Шумоподавляющая фильтрация изображения.

На первом этапе в системах обработки изображений наиболее значимым фактором является фильтрация изображения от шумов и помех, появляющихся вследствие преобразования сигналов [11-13]. Помехи и шумы на изображении могут оказывать влияние на алгоритмы распознавания объектов за счет уменьшения контрастности и изменения яркостной картины изображения.

Оптимальным является алгоритм пространственной фильтрации изображений, осуществляющий адаптивное, скользящее усреднение сигнала по двумерной апертуре, форма которой определяется характером изображения в прямоугольной окрестности рассматриваемого элемента [12].

Для анализа используется изображение растрового вида, заданное в виде матрицы $P = \{p_{ij}\}$, $i, j = 1, \dots, N$, где p_{ij} – значения яркости элемента изображения; $p_{ij} \in [0, M-1]$; M – число уровней яркости, N – размер матрицы.

Данное изображение представляет собой совокупность областей-изображений объектов и фона, искаженных аддитивным шумом.

Условно алгоритм разбивается на два этапа. На первом этапе для каждого элемента изображения проводится адаптивное усреднение по направлению строки. Для этого рассматриваются все возможные отрезки Δ_k длины L , включающие в себя элемент, в котором производится усреднение:

$$(i, j) \in \Delta_k, \quad k = 1, \dots, L,$$
$$\Delta_k = \{p_{ia}\}, \quad a = j - L + k \dots j + L - 1.$$

Для каждого отрезка Δ_k строки выделяется среднее значение S_k и дисперсия D_k :

$$S_k = \frac{1}{L} \cdot \sum_{(m,l) \in \Delta_k} p_{m,l},$$
$$D_k = \frac{1}{L} \cdot \sum_{(m,l) \in \Delta_k} p_{m,l}^2 - S_k^2.$$

Затем определяется отрезок Δ_d с минимальной дисперсией, где

$$d = \arg \min_{m=1, \dots, L} (D_m).$$

В качестве результата x_{ij} адаптивного усреднения по строке элемента (i, j) изображения используется локальное среднее значение S_d по отрезку Δ_d строки, для которого дисперсия D_d минимальна: $x_{ij} = S_d$.

На втором этапе аналогичная процедура используется для адаптивного усреднения по столбцу полученных на первом этапе значений $X = \{x_{ij}\}$. Для этого рассматриваются отрезки j -го столбца изображения длины L , включающие в себя элемент (i, j) :

$$(i, j) \in Q_k, \quad k = 1, \dots, L.$$

Для каждого отрезка Q_k столбца вычисляется среднее значение \bar{S}_k и дисперсия \bar{D}_k значений его элементов:

$$\bar{S}_k = \frac{1}{L} \cdot \sum_{(m,l) \in Q_k} x_{m,l},$$

$$\bar{D}_k = \frac{1}{L} \sum_{(m,l) \in Q_k} x_{m,l}^2 - \bar{S}_k^2.$$

После этого определяется отрезок Q_d с минимальной дисперсией:

$$d = \arg \min_{m=1, \dots, L} (\bar{D}_m).$$

В качестве результата $y_{ij}^{(1)}$ адаптивного усреднения по столбцу элемента (i, j) изображения используется локальное среднее значение \bar{S}_d по отрезку Δ_d строки, для которого дисперсия \bar{D}_d является минимальной: $y_{ij}^{(1)} = \bar{S}_d$.

В результате для каждого элемента (i, j) изображения результатом z_{ij} адаптивной пространственной фильтрации является среднее значение, рассчитанное по апертуре, содержащей L^2 элементов, форма которой определяется характером исходного изображения в некоторой окрестности элемента (i, j) .

Основными операциями при реализации алгоритма являются вычисления локального среднего и фильтрация. Для сокращения объема вычислений можно использовать рекуррентные ссылки. Такой способ обработки данных позволяет сохранять присутствующие на изображении малоконтрастные объекты.

1.2 Определение карты высот объекта по данным парных снимков.

Вычисление расстояний до поверхности объекта обычно производится по парным кадрам изображения, полученным под разными углами. Для этого используются две фотокамеры, расположенные на некотором расстоянии (200-500 мм) друг от друга (рис.1). Если известны координаты определенной точки на двух (или более) изображениях одного и того же объекта, полученные под разными углами зрения, можно, зная параметры камер, вычислить координаты точки в трехмерном пространстве [14]. Одна из основных проблем в стереорекострукции – найти точное соответствие точек между изображениями, применяемыми для реконструкции.

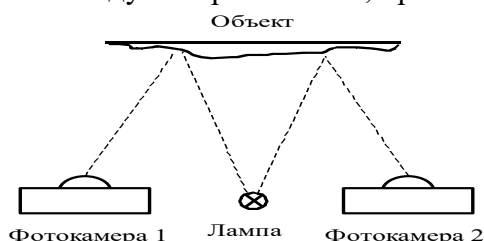


Рис. 1. Получение стереоизображения с помощью двух фотокамер

Fig. 1. Receiving stereo image using two cameras

Для получения математической трехмерной модели необходимо иметь карту высот поверхности объекта, где массиву точек на этой поверхности соответствуют их пространственные координаты x , y и z . Такие данные можно получить также используя эффект изменения направления освещенности объекта при помощи нескольких направленных источников освещения, расположенных в одной плоскости на некотором расстоянии друг от друга. Расстояние между ними определяется удаленностью фотокамеры и ламп освещения от объекта. Вариант взаимного расположения фотокамеры и ламп освещения представлен на рис. 2.



Рис. 2. Взаимное расположение фотокамеры и ламп для определения карты высот

Fig. 2. The relative position of the camera and lamps to determine the height map

Количество ламп определяется степенью детализации сведений о рельефе поверхности. Для объектов несложной формы достаточно двух ламп освещения.

Съемка кадров ведется поочередно с каждой лампой, в результате чего результатом является два или более последовательных кадра. Расстояние между точкой съемки и точками карты высот определяется по бликам от ламп. Смещение плоскости расположения ламп относительно фотокамеры объясняется тем, что при его отсутствии измерение расстояния от объекта до фотокамеры невозможно, так как в этом случае световые блики будут располагаться в одном месте независимо от удаленности предмета исследования.

На рис. 3 приведена схема расположения средств и объекта съемки для определения карты высот одной фотокамерой. При помощи первой лампы получают карту высот поверхности для левой половины объекта, а второй лампы – правой половины.

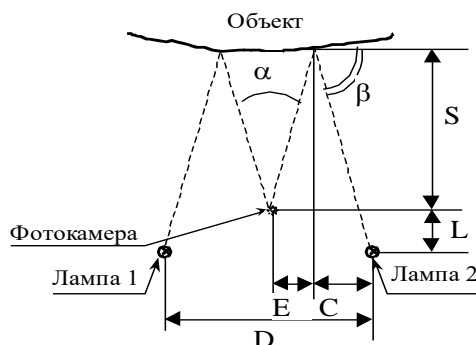


Рис. 3. Определение карты высот с помощью одной фотокамеры

Fig. 3. Determination of the height map using one camera

Определение расстояния от плоскости фотокамеры до поверхности объекта (рис. 3) производится исходя из следующих формул:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta &= \frac{S}{E}, \\ \operatorname{tg} \beta &= \frac{S+L}{C}. \end{aligned}$$

Приравняв правые части данных выражений, получим формулу, по которой будет определяться расстояния от плоскости фотокамеры до поверхности объекта в определенной точке:

$$S = \frac{E * L}{C - E}, \quad (1)$$

Расстояние между плоскостью расположения ламп и фотокамерой L влияет на изменение параметра S(E) (рис. 4). Увеличение L приводит к возрастанию зависимости S от E. Для малорельефной поверхности объектов, к которым можно отнести человеческое лицо (изменение высоты поверхности 1..100 мм), оптимальным является значение L равное 200 мм, так как в результате изменение расстояния до объекта будет колебаться от 1000 до 1100 мм.

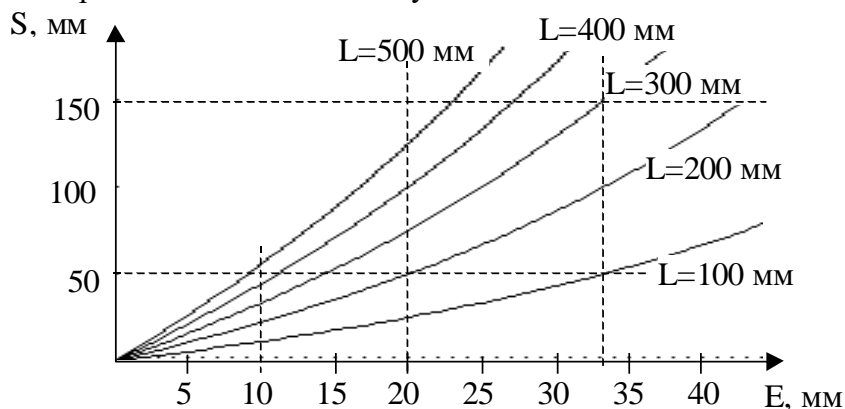


Рис. 4. Влияние расстояния L на изменение параметра S(E)

Fig.4. Influence of the distance L on the change in the parameter S (E)

Увеличение этого значения приведет к увеличению ошибки вычисления высоты поверхности, а уменьшение зависит от разрешения используемой фотокамеры (при дальности съемки около 1 м). Если дальность съемки необходимо изменить, то L должно быть соответственно увеличено или уменьшено. В результате обработки изображения объекта будет получена карта высот поверхности, в которой координатами X, Y и Z будут заданы точки, расположенные на поверхности предмета перпендикулярной к плоскости фотокамеры.

1.3. Выделение контура объекта.

Различные виды обстановки в помещении, ориентация светового потока, фоновой освещение приводят к дополнительным сложностям при выделении контуров объекта [15-17]. Для более четкого определения контура из-за различных помех и особенностей светового потока необходимо повысить контрастность изображения в 5-20 раз. Повышение или снижение контрастности изображения осуществляется умножением значения каждого цветового канала RGB на некоторый специальным образом подобранный коэффициент, что приводит к изменению соотношений между цветами a , следовательно, и к более четким границам. Для изменения контрастности без потери средней яркости используем формулу [16, 17]:

$$y_{ij}^{(2)} = K \cdot (y_{ij}^{(1)} - \bar{Y}) + \bar{Y},$$

где $y_{ij}^{(2)}$ - новое значение одного из каналов; K - коэффициент контрастности ($0 < K < 1$ - снижение, $K > 1$ - повышение контрастности); $y_{ij}^{(1)}$ - текущее значение яркости канала; \bar{Y} - среднее значение яркости канала по всему изображению.

Яркость точки находится по формуле, коэффициенты которой определяются свойствами человеческого зрения [18]:

$$y_{ij}^{(2)} = 0.3 \cdot R + 0.59 \cdot G + 0.11 \cdot B,$$

где R, G, B – яркость изображения по красной, зеленой и голубой составляющим

В результате изменения контрастности изображение объекта приобретает более четкий вид. Дальнейшая обработка производится по методу Собела [18-20], использующего двухмерную апертуру 3 на 3 вида:

1	2	3
8		4
7	6	5

$$X = (A_3 + 2 \cdot A_4 + A_5) - (A_1 + 2 \cdot A_8 + A_7),$$

$$Y = (A_1 + 2 \cdot A_2 + A_3) - (A_7 + 2 \cdot A_6 + A_5).$$

Значение центрального элемента F находится по формуле:

$$F' = \sqrt{X^2 + Y^2}.$$

Окончательное значение F' помещается вместо элемента F , после чего рабочее окно сдвигается на один элемент влево (далее - слева направо и сверху вниз).

1.4. Коррекция рельефа поверхности по яркостной картине.

Получение карты высот поверхности является недостаточной информацией для построения матрицы всего объекта. Для ее получения необходимо откорректировать полученные высоты, а также ввести недостающую информацию о провалах в рельефе. Это можно осуществить, получив яркостную картину изображения, на основании которой вычислить ориентировочные высоты всей поверхности. Информация, полученная в комплексе при обработке данных обоими методами, дает нам полную трехмерную матрицу объекта.

При визуализации трехмерных объектов яркость точки поверхности вычисляется с использованием математических моделей освещения и отражения света от поверхности. В общем случае яркость точки зависит от таких характеристик, как свойства источников света, характеристики поверхности, ориентации поверхности относительно падающего света, точки зрения наблюдателя и т.д. Недостатком существующих моделей является их существенная некорректность, т.к. неизвестных переменных гораздо больше, чем исходных данных. Но поскольку в решаемой задаче исследуемый объект (лицо человека) находится на неизменном расстоянии от точки наблюдения и освещено равномерными источниками света, то будем учитывать только коэффициент отражения и цвет. Получим по карте высот поверхности параметры соответствия яркости точки и ее отдаленности от точки наблюдения.

Обсуждение результатов. Предлагаемый метод основан на специфической форме головы человека. Данный метод предполагает, что голова, при виде сверху, имеет форму вытянутого эллипса [21, 22] (рис. 5).

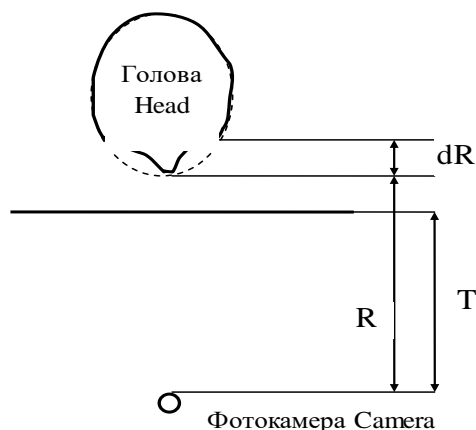


Рис.5. Определение карты высот поверхности лица
Fig. 5. Determination of the elevation map of the face surface

Расстояние от точки наблюдения до поверхности эллипса определяется на основании яркости точек на изображении, представляющего собой плоскость.

При вычислении оно определяется как разность расстояний между плоскостью изображения ($R(x, y)$) и поверхностью эллипса ($T(x, y)$):

$$H(x, y) = R(x, y) - T(x, y). \quad (2)$$

Так как яркости точек вносят дополнительные изменения расстояний (2), в результате мы получаем карту высот всей поверхности объекта (3).

$$K(x, y) = G / R^2, \quad (2)$$

$$P(x, y) = H(x, y) \cdot K(x, y). \quad (3)$$

Имея яркостную карту высот поверхности (формулы (1) и (3) можно определить коэффициент, учитывающий коэффициент отражения и цвет поверхности в узловых точках, полученных по формуле (1):

$$N = P(x, y) / S(x, y).$$

На конечном этапе можно откорректировать карту глубины, умножив яркостную карту высот поверхности на этот коэффициент, и получить в результате пространственную модель объекта в виде трехмерной матрицы.

Экспериментальное исследование разработанного алгоритма проверим на трехмерных моделях головы человека, взятых с сайта <https://open3dmodel.com>. Примеры тестовых моделей приведены на рис. 6. Использование моделей в этом случае позволяет легко получить стереофотографии, а также определить степень отклонения от реальных карт глубины, полученных с помощью специализированного программного обеспечения на основе трехмерной математической модели.



Рис. 6. Примеры тестовых моделей головы для проверки работы алгоритма
Fig.6.Examples of test head models to check the algorithm

Карты глубины лица для тестовых изображений после обработки алгоритмом Depth Transfer [5] и с помощью разработанного алгоритма представлены на рис. 6 – 8.



Рис. 7. Карты глубины тестовых изображений, полученные методом Depth Transfer
Fig. 7. Depth maps of test images obtained by the Depth Transfer method



Рис. 8. Карты глубины тестовых изображений, полученные после выполнения процедуры коррекции яркости

Fig. 8. Depth maps of test images obtained after performing the brightness correction procedure

Визуальный анализ позволяет сделать вывод, что карты глубины для первого фото, не содержащего значимых бликов, для методов Depth Transfer и разработанного метода практически не отличаются. Для второй фотографии, содержащей выраженные блики, разработанный метод позволяет уменьшить влияние бликов на карту глубины.

В табл. 1 представлены значения погрешности для тестовых изображений. Критерием эффективности оценки выступает значение среднеквадратического отклонения разности между оценкой и ее истинной моделью:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (Y_{i,j}^{(D)} - \bar{Y}_{i,j}^{(D)})^2}{N \cdot M}},$$

где $Y_{i,j}^{(D)}$ - модель карты глубины, полученная с помощью специализированного программного обеспечения на основании тестовых трехмерных моделей, $\bar{Y}_{i,j}^{(D)}$ - оценка карты глубины, полученная с помощью предлагаемого метода.

Таблица 1. Значения погрешности для тестовых изображений
Table 1. Values of error for test images

№ тестового изображения Test Image No.	Погрешность для метода Depth Transfer, %	Погрешность для разрабо- танного метода, % The error for the developed method, %
1	10,9	12,4
2	15,5	11,6
3	12,3	10,5
4	14,8	11,2
5	9,7	9,1
6	10,4	10,2

Анализ результатов обработки изображений показывает, что для рассмотренных тестовых изображений значение среднеквадратической ошибки для предложенного метода меньше в среднем на 5-10%, чем для метода Depth Transfer.

Вывод. Для эффективного исследования челюстно-лицевого отдела головы человека необходимо построить ее виртуальную модель. Существующие методы активного получения и обработки изображения требуют использования дорогостоящего оборудования.

Наиболее перспективным методом пассивного исследования является стереозрение, основанное на построении карты глубины по двум снимкам, сделанным с различных камер. Однако исходные фотоснимки могут обладать дефектами, из-за которых получение качественной математической модели исследуемого объекта может быть затруднено.

Предложенная методика коррекции карты глубины позволяет использовать яркость точки для исправления найденных дефектов и получения пространственной модели, которая в дальнейшем может быть использована для виртуального исследования или визуализации. Работа методики была успешно проверена на тестовых изображениях. На практике использование разработанной методики позволяет значительно сократить затраты на моделирование, так как требует наличия только двух фотокамер без другого дополнительного оборудования.

Библиографический список:

1. Бацева Д.А. Пассивные технологии моделирования головы человека / Д.А. Бацева, Ю.С. Белов // Научное обозрение. Технические науки. 2017. № 2. С. 11-14.
2. Бацева Д.А. Активные технологии моделирования головы человека / Д.А. Бацева, Ю.С. Белов //Международный студенческий научный вестник. 2017. № 3. Режим доступа: <https://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=17296>. (Дата обращения: 21.11.2017).
3. Форсайт Д. А. Компьютерное зрение: современный подход / Д. А. Форсайт, Ж. Понс. М.: Вильямс, 2004. 928 с.
4. Ульянов С.В. Разработка системы стереозрения для мобильного робота / С.В. Ульянов, А.Г. Решетников, К.В. Кошелев // Программные продукты и системы. 2017. Т. 3, № 30. С. 435–438.
5. Scharstein D. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms / D. Scharstein, R. Szeliski // Int. Journal of Computer Vision. 2002. Vol. 47, No 1-3. pp. 7–42.
6. Вахитов А.Т. Обзор алгоритмов стереозрения / А.Т. Вахитов, Л.С. Гуревич, Д.В. Павленко // Стохастическая оптимизация в информатике. 2008. № 4. С. 151-169.
7. Котюжанский Л.А. Вычисление карты глубины стереоизображения на графическом процессоре в реальном времени / Л.А. Котюжанский // Фундаментальные исследования. 2012. № 6-2. С. 444-449.
8. Воронин В.В. Восстановление карты глубины на основе комбинированной обработки многоканального изображения / В.В. Воронин // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16360>. (Дата обращения: 11.01.2019).
9. Ковалев О.Ф. Повышение качества карт глубины по дальности / О.Ф. Ковалев // Информационные системы и технологии: материалы международного научного конгресса. Минск, 2016. - Минск: Изд-во Белорусского государственного университета. 2016. С. 942-946.
10. Gordon G.G. Face Recognition Based on DepthMaps and Surface Curvature / G.G. Gordon // Proceedings of the SPIE, Geometric Methods in Computer Vision, 1991. Vol. 1570. pp. 108–110.
11. Фурман Я.А. Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман - М.: ФИЗМАТЛИТ. 2002. 592 с.
12. Новаковский С.В. Новые системы телевидения. Цифровые методы обработки видеосигналов / С.В. Новаковский - М.: Радио и связь. 1992. 88с.

13. Старовойтов В.В. Метрический базис цифровой обработки изображений / В.В. Старовойтов // Автоматизация обработки и распознавания изображений: сб. науч. тр. / Минск. 1995. С. 7-14.
14. Казанский Н.Л. Сравнение объекта и эталона по отклонению контуров / Н.Л. Казанский, Р.В. Хмелев // Компьютерная оптика. 2000. Вып. 20. С. 128-133.
15. Абламейко С.В. Выделение контуров объектов полутонового изображения на основе локальной бинаризации / С.В. Абламейко, Д.М. Лагуновский // Распознавание образов и анализ изображений: тез. докл. конф. Минск. 1993. С. 193-195.
16. Абламейко С.В. Векторное представление границ объектов полутонового изображения и их обработка в высокопроизводительных системах: инструкт.-метод. материалы / С.В. Абламейко, М.А. Самошкин, А.Я. Кулешов. Минск: ИТК АНБ. 1993. 123 с.
17. Zhang Yu-Jin. Advances in Image and Video Segmentation / Yu-Jin Zhang, Hershey: IRM Press. 2006. 473 с.
18. Senthilkumaran N.A. Study on Edge Detection Methods for Image Segmentation / N.A. Senthilkumaran, R. Rajesh // Proceedings of the International Conference on Mathematics and Computer Science (ICMCS-2009). 2009. Vol. 1. pp. 255-259.
19. Буй Т.Т.Ч. Анализ методов выделения краев на цифровых изображениях / Т.Т.Ч. Буй, В.Г. Спицын // Доклады ТУСУР. 2010. № 2 (22), ч. 2. С. 221-223.
20. Chellappa R. Statistical Methods and Models for Video-Based Tracking, Modeling, and Recognition / R. Chellappa и [др.] // Foundations and Trends in Signal Processing. 2010. No. 1-2. pp. 128-151.
21. Reyad Y.A. Image Thresholding Using Split and Merge Techniques with Log-Normal Distribution / Y.A. Reyad, A. El-Zaart, H. Mathkour // Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision. 2010. Vol.1, no.3. pp. 36-45.
22. Calderero F. Region Merging Techniques Using Information Theory Statistical Measures / F. Calderero, F. Marques // IEEE Transactions on Image Processing. 2010. Vol. 19, No. 6. pp. 1567-1586.

References:

1. Batseva D.A. Passivnyye tekhnologii modelirovaniya golovy cheloveka / D.A. Batseva, YU.S. Belov // Nauchnoye obozreniye. Tekhnicheskiye nauki. 2017. № 2. S. 11-14. [Batseva D.A. Passive technologies for modeling the human head / D.A. Batseva, Yu.S. Belov // Scientific Review. Technical science. 2017. No. 2. S. 11-14. (In Russ)]
2. Batseva D.A. Aktivnyye tekhnologii modelirovaniya golovy cheloveka / D.A. Batseva, YU.S. Belov // Mezhdunarodnyy studentcheskiy nauchnyy vestnik. 2017. № 3. Rezhim dostupa: <https://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=17296>. - (Data obrashcheniya: 21.11.2017). [Batseva D.A. Active technologies for modeling the human head. Batseva, Yu.S. Belov // International student scientific bulletin. 2017. No. 3. Access mode: <https://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=17296>. (Date of access: 21.11.2017) (In Russ)]
3. Forsayt D. A. Komp'yuternoye zreniye: sovremennyy podkhod / D. A. Forsayt, ZH. Pons. - M.: Vil'yams, 2004. 928 s. [Forsight D.A. Computer vision: a modern approach / DA Forsyth, J. Pons. M.: Williams, 2004.928 p. (In Russ)]
4. Ulyanov S.V. Razrabotka sistemy stereozreniya dlya mobil'nogo robota / S.V. Ulyanov, A.G. Reshetnikov, K.V. Koshelev // Programnyye produkty i sistemy. 2017. T. 3, № 30. S. 435-438. [Ulyanov S.V. Development of a stereo vision system for a mobile robot / S.V. Ulyanov, A.G. Reshetnikov, K.V. Koshelev // Software products and systems. 2017. T. 3, No. 30. pp. 435-438. (In Russ)]
5. Scharstein D. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms / D. Scharstein, R. Szeliski // Int. Journal of Computer Vision. 2002. Vol. 47, No 1-3. pp. 7-42.
6. Vakhitov A.T. Obzor algoritmov stereozreniya / A.T. Vakhitov, L.C. Gurevich, D.V. Pavlenko // Stokhasticheskaya optimizatsiya v informatike. 2008. № 4. S. 151-169. [Vakhitov A.T. Review of stereovision algorithms / A.T. Vakhitov, L. S. Gurevich, D.V. Pavlenko // Stochastic optimization in computer science. 2008. No. 4. pp. 151-169. (In Russ)]
7. Kotyuzhanskiy L.A. Vychisleniye karty glubiny stereoizobrazheniya na graficheskom protsessore v real'nom vremeni / L.A. Kotyuzhanskiy // Fundamental'nyye issledovaniya. 2012. № 6-2. S. 444-449. [Kotyuzhansky L.A. Calculation of the depth map of a stereo image on a graphics processor in real time / L.A. Kotyuzhansky // Fundamental Research. 2012. No. 6-2. pp. 444-449. (In Russ)]
8. Voronin V.V. Vosstanovleniye karty glubiny na osnove kombinirovannoy obrabotki mnogokanal'nogo izobrazheniya / V.V. Voronin // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 6. Rezhim dostupa: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16360>. (Data obrashcheniya: 11.01.2019). [Voronin V.V. Reconstruction of the depth map based on combined processing of a multichannel image / V.V. Voronin // Modern problems of science and education. 2014. No. 6. Access mode: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16360>. (Date of access: 11.01.2019) (In Russ)]
9. Kovalev O.F. Povysheniye kachestva kart glubiny po dal'nosti / O.F. Kovalev // Informatsionnyye sistemy i tekhnologii: materialy mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa. Minsk, 2016. - Minsk: Izd-vo Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2016. - S. 942-946. [Kovalev O.F. Improving the quality of depth maps by range / O.F. Kovalev // Information systems and technologies: materials of the international scientific congress. Minsk, 2016. Minsk: Publishing house of the Belarusian State University. 2016. pp. 942-946. (In Russ)]
10. Gordon G.G. Face Recognition Based on DepthMaps and Surface Curvature / G.G. Gordon // Proceedings of the SPIE, Geometric Methods in Computer Vision, 1991. Vol. 1570. pp. 108-110.
11. Furman YA.A. Vvedeniye v konturnyy analiz i yego prilozheniya k obrabotke izobrazheniy i signalov / YA.A. Furman - M.: FIZMATLIT. 2002. 592 s. [Furman Ya.A. Introduction to contour analysis and its applications to image and signal processing / Ya.A. Furman M.: FIZMATLIT. 2002. 592 p. (In Russ)]
12. Novakovskiy S.V. Novyye sistemy televideniya. Tsifrovyye metody obrabotki videosignalov / S.V. Novakovskiy - M.: Radio i svyaz'. 1992. 88s. [Novakovsky S.V. New television systems. Digital methods of video signal processing / S.V. Novakovsky - M.: Radio and communication. 1992. 88p. (In Russ)]
13. Starovoitov V.V. Metric basis for digital image processing / V.V. Starovoitov // Automation of image processing and recognition: collection of articles. scientific. tr. / Minsk. 1995. pp. 7-14.

14. Kazanskiy N.L. Sravneniye ob"yekta i etalona po otkloneniyu konturov / N.L. Kazanskiy, R.V. Khmelev // Komp'yuternaya optika. 2000. Вып. 20. S. 128-133. [Kazansky N.L. Comparison of the object and the standard by the deviation of the contours / N.L. Kazansky, R.V. Khmelev // Computer Optics. 2000. Iss. 20. pp. 128-133. (In Russ)]
15. Ablameyko S.V. Selection of contours of objects of a halftone image based on local binarization / S.V. Ablameiko, D.M. Lagunovsky // Pattern recognition and image analysis: abstracts. report conf. Minsk. 1993 . p. 193-195.
16. Ablameyko S.V. Vector representation of the boundaries of grayscale objects and their processing in high-performance systems: instructional method. materials / S.V. Ablameiko, M.A. Samoshkin, A. Ya. Kuleshov - Minsk: ITK NSA. 1993 .123 p.
17. Zhang Yu-Jin. Advances in Image and Video Segmentation / Yu-Jin Zhang. Hershey: IRM Press. 2006 . 473 p.
18. Senthilkumaran N.A. Study on Edge Detection Methods for Image Segmentation / N.A. Senthilkumaran, R. Rajesh // Proceedings of the International Conference on Mathematics and Computer Science (ICMCS-2009). 2009. Vol. 1. pp. 255–259.
19. Buy T.T.CH. Analiz metodov vydeleniya krayev na tsifrovyykh izobrazheniyakh / T.T.CH. Buy, V.G. Spitsyn // Doklady TUSUR. 2010. № 2 (22), ch. 2. S. 221-223. [Bui T.T.Ch. Analysis of edge detection methods on digital images / T.T.Ch. Bui, V.G. Spitsyn // Reports of TUSUR. 2010. No. 2 (22), part 2. pp. 221-223 (In Russ)]
20. Chellappa R. Statistical Methods and Models for Video-Based Tracking, Modeling, and Recognition / R. Chellappa et [others] // Foundations and Trends in Signal Processing. 2010. No. 1-2. pp. 128-151.
21. Reyad Y.A. Image Thresholding Using Split and Merge Techniques with Log-Normal Distribution / Y.A. Reyad, A. El-Zaart, H. Mathkour // Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision. 2010. Vol.1, No.3. pp. 36-45.
22. Calderero F. Region Merging Techniques Using Information Theory Statistical Measures / F. Calderero, F. Marques // IEEE Transactions on Image Processing. 2010. Vol. 19, No. 6. pp. 1567-1586.

Сведения об авторах:

Короткевич Светлана Ивановна, старший преподаватель, кафедра систем автоматизированного проектирования и информационных систем; e-mail: sapris@vorstu.ru

Минаева Юлия Васильевна, старший преподаватель, кафедра систем автоматизированного проектирования и информационных систем; e-mail: myuvs@yandex.ru

Information about the authors:

Svetlana I. Korotkevich, Senior lecturer, Department of Computer-Aided Design and Information Systems; e-mail: sapris@vorstu.ru

Yulia V. Minaeva, Senior lecturer, Department of Computer-Aided Design and Information Systems;; e-mail: myuvs@yandex.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.08.2020.

Принята в печать 16.09.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 10.08.2020.

Accepted for publication 16.09.2020.