

Методы определения размеров трехмерных объектов на изображениях

Л. В. Серебряная, к. т. н., доцент, доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий

E-mail: L_silver@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-7189-7378

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

В. Н. Брешко, студентка кафедры программного обеспечения информационных технологий

E-mail: breshko314@gmail.com

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Использована технология компьютерного зрения, позволяющая получать необходимую информацию из изображений. На основе процесса реконструкции и особых точек двухмерное изображение было преобразовано в соответствующую ему трехмерную структуру. Выполнен обзор программных средств, предназначенных для сканирования объектов и измерения их габаритных размеров. Приведена математическая модель и алгоритм построения трехмерных структур объектов изображений. На основе шаблона проектирования разработана архитектура программного приложения, состоящего из модулей обработки изображений, вычисления размеров объектов, сохранения полученных данных. Использован наиболее быстрый алгоритм нахождения особых точек и их дескрипторов. В работе вычисляются как однородные, так и Евклидовы координаты характерных точек. Изложена методика использования мобильного приложения в автоматическом и ручном режимах. Приведены результаты сканирования объектов камерой мобильного устройства и определения их размеров в режиме реального времени.

Ключевые слова: изображение, трехмерная модель, компьютерное зрение, особые точки, однородные координаты, дескриптор

Для цитирования: Серебряная, Л. В. Методы определения размеров трехмерных объектов на изображениях / Л. В. Серебряная, В. Н. Брешко // Цифровая трансформация. – 2021. – № 1 (14). – С. 65–72.



© Цифровая трансформация, 2021

Methods for Determining the Size of three-Dimensional Objects in Images

L. V. Serebryanaya, Candidate of Science (Technical), Associate Professor, Associate Professor of Information Technologies Software Department

E-mail: L_silver@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-7189-7378

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 6 P. Brovka St., 220013, Minsk, Republic of Belarus

V. N. Breshko, Student of Information Technologies Software Department

E-mail: breshko314@gmail.com

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 6 P. Brovka St., 220013, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Computer vision technology is used to obtain the necessary information from images. The two-dimensional image was transformed into its corresponding three-dimensional structure based on the reconstruction process and

singular points. A review of software tools designed for scanning objects and measuring their dimensions is performed. A mathematical model and algorithm for constructing three-dimensional structures of objects in images are presented. Based on the design pattern, the architecture of the software application is developed. It consists of an image processing module, a module for calculating the size of objects, and a module for storing the received data. The fastest algorithm for finding singular points and their descriptors is used. In this paper, both homogeneous and Euclidean coordinates of characteristic points are calculated. The method of using the mobile application in automatic and manual modes is described. The results of scanning objects with the camera of a mobile device and determining their size in real time are presented.

Key words: image, three-dimensional model, computer vision, singular points, homogeneous coordinates, descriptor

For citation: Serebryanaya L. V., Breshko V. N. Methods for Determining the Size of three-Dimensional Objects in Images. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 1 (14), pp. 65–72 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

Введение. Вопрос автоматизации того или иного процесса появляется тогда, когда требуется ускорить выполнение заранее известных действий и минимизировать в этом участие человека. Работа посвящена одному из подобных процессов – измерению габаритных размеров объектов в пространстве. В данном случае удобно использовать мобильное устройство, так как в настоящее время такие гаджеты всегда под рукой у подавляющего большинства людей. В результате становится возможным сфотографировать камерой мобильного телефона или планшета нужный объект и быстро получить данные о его размерах через пользовательский интерфейс программного обеспечения (ПО).

Для решения названной задачи необходимо иметь систему, которая сможет выделять необходимый объект из визуального информационного ряда, а также определять его расположение относительно наблюдателя для вычисления габаритных размеров. Для этого удобно использовать технологию компьютерного зрения – теорию создания искусственных систем, получающих информацию из изображений. В настоящее время существует множество программных средств (ПС), умеющих находить, распознавать и идентифицировать объекты на изображениях. Однако программ, которые бы позволяли, помимо идентификации объекта, получить его размерные характеристики, немного.

Решение поставленной задачи связано с процессом реконструкции. Это восстановление трехмерной структуры из двухмерной [1]. Недостатком двухмерной проекции или плоского изображения является отсутствие явной информации о глубине сцены. Человеческий глаз в состоянии оценить глубину сцены на плоском изображении по некоторым косвенным признакам: затенению, текстуре, фокусу, движению.

В алгоритмах построения трехмерной структуры пространства используется понятие «особые точки» или «характерные точки». Осо-

бая точка – это точка изображения, обладающая высокой локальной информативностью. Обычно выделение характерных точек является начальным этапом работы любой системы компьютерного зрения. Основным преимуществом использования особых точек считается относительная простота и скорость их обнаружения. К характерным точкам предъявляют ряд требований в виде их свойств: инвариантности, стабильности, уникальности, интерпретируемости. Подходы к определению особых точек делятся на три категории: основанные на интенсивности изображения, использующие контуры изображения, основанные на использовании специальной модели.

Обзор ПС *EasyMeasure, Smart Tools, 123D Catch, Structure*, предназначенных для построения трехмерных моделей объектов из серии снимков и определения размеров объектов, позволил оценить их преимущества и недостатки, а также сделать соответствующие выводы. Ни один из перечисленных продуктов не предоставляет возможности сканирования и измерения объекта одновременно. Поэтому создание программного приложения, способного находить объект и вычислять его размеры, является актуальной и востребованной задачей.

Математическая модель построения 3-D структуры. Задача определения реальных характеристик пространства, исходя из смоделированного объема, решается только при условии, что известно хотя бы одно расстояние между двумя точками материального пространства и это же расстояние между двумя точками смоделированного пространства.

Создание трехмерной модели объектов выполняется на основе двухмерной модели и особых точек. Поэтому ставится задача нахождения координат таких точек в трехмерном пространстве. Для этого необходимо:

- 1) найти характерные точки на первом кадре;

2) определить точки-соответствия между первым и вторым кадром;

3) найти существенную (или фундаментальную) матрицу для рассматриваемой пары изображений;

4) из нескольких полученных матриц перехода рассчитать координаты точек в пространстве.

Системы компьютерного зрения строят математические модели различных процессов с помощью аналитической проективной геометрии.

Точки, которые на Евклидовой плоскости задаются парой координат (x, y) , на проективной плоскости описываются трехкомпонентным вектором (x, y, w) . При этом для любого ненулевого числа a , векторы (x, y, w) и (ax, ay, aw) соответствуют одной и той же точке. Прямая на проективной плоскости задается, подобно точке, трехкомпонентным вектором $l = (a, b, c)$. Точки трехмерного проективного пространства определяются четырехкомпонентным вектором однородных координат (x, y, z, w) . Модель проективной камеры представлена на рисунке 1, где C – центр камеры, Sp – главная ось камеры, X – точка в трехмерном пространстве, x – точка на плоскости изображения:

В случае построения трехмерной модели на основе нескольких двумерных проекций необходимо вычислить координаты некоторых важных точек в трехмерном пространстве. Для проективной камеры справедливо следующее тождество

$$x = K \cdot [R|t] \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

или более полное описание:

$$\begin{pmatrix} ix_x \cdot x_z \\ ix_y \cdot x_z \\ x_z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_x \\ X_y \\ X_z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Здесь x – это положение точки на изображении в однородных координатах и $x = (ix_x \cdot x_z, ix_y \cdot x_z, x_z)$, то есть в обычных координатах это будет выглядеть так: $x = (x_x/x_z, x_y/x_z)$. R – это матрица, отражающая положение камеры в пространстве, или матрица поворота (размером 3×3), t – трехмерный вектор смещения. Вместе они составляют матрицу перехода $[R|t]$. K – матрица внутренних параметров камеры, где f_x, f_y – фокальное расстояние в пикселях, c_x, c_y – оптический центр камеры (обычно это координаты центра изображения). Эти параметры называют внутренними параметрами камеры [2, 3].

Важным является тот факт, что в случае проективного подхода, точки, лежащие на одной прямой в пространстве, будут лежать на одной прямой и на изображении. Однако в реальных условиях возможно линзовое искажение (или дисторсия) из-за которого прямые линии становятся изогнутыми. Существуют методы исправления этих искажений. Поскольку дисторсия не влияет на глубину расположения точек, а лишь на координаты точек на двумерном изображении, можно сначала исправить изображение, а затем использовать ту же математическую модель для вычислений. С камерами мобильного устройства

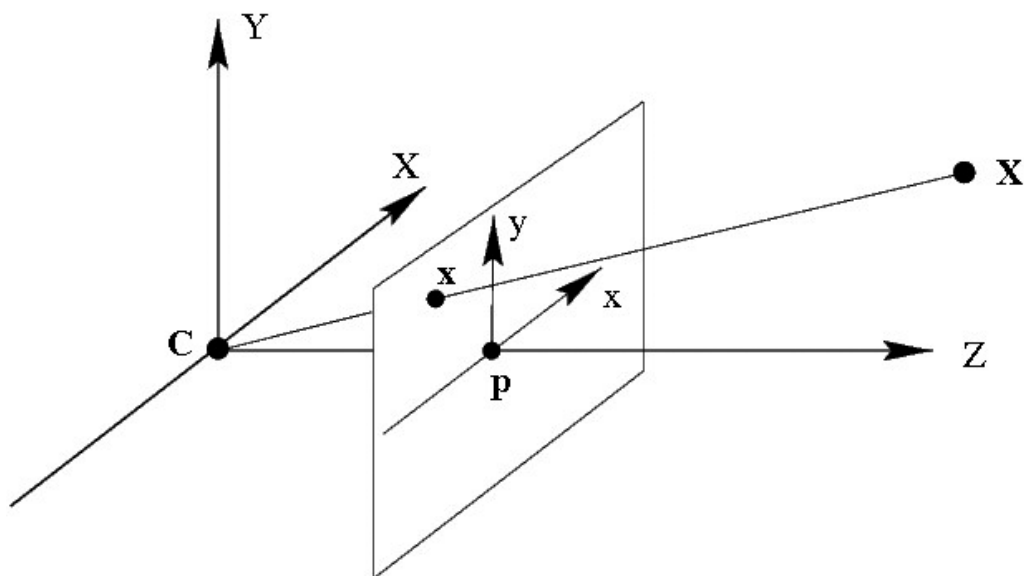


Рис. 1. Модель проективной камеры
Fig. 1. Projective camera model

подобная проблема случается довольно редко, поэтому в дальнейшем она не учитывалась при построении модели.

Далее необходимо найти фундаментальную и сущностную матрицы F и E . Для двух изображений A и B фундаментальная матрица выражается уравнением

$$(x_i^B)^T \cdot F \cdot x_i^A = 0, \quad (3)$$

где x_i^B и x_i^A точки в кадрах B и A соответственно.

Фундаментальная и сущностная матрицы связаны таким образом:

$$E = K^T \cdot F \cdot K. \quad (4)$$

Чтобы найти трехмерные координаты точек по ее двумерным проекциям, необходимо применить сингулярное разложение к сущностной матрице E и найти матрицу камеры для второго изображения. Матрица камеры P имеет вид:

$$P = K \cdot [R | t]. \quad (5)$$

Таким образом, если для некоторой точки X на изображениях A и B обозначить однородные координаты x_A и x_B и матрицы камер P_A и P_B , соответственно, то можно составить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} x_A = P_A \cdot X \\ x_B = P_B \cdot X \end{cases} \quad (6)$$

Решение системы уравнений (6) позволит получить однородные координаты точки X в трехмерном пространстве [3].

Проектирование приложения. С учетом поставленной задачи можно выделить основные черты, присущие создаваемому программному приложению, а также требования, предъявляемые к техническим и программным средствам, на котором оно будет работать:

- мобильное устройство с процессором *Apple A7* и мощнее, гироскоп, акселерометр;
- операционная система *iOS* версии 7 и выше;
- возможность сохранения в память устройства заданную пользователем высоту расположения камеры, при этом не предусматривается хранение большого количества пользовательских данных;
- возможность получения данных с сенсора камеры мобильного устройства.

Средствами пользовательского интерфейса должна выполняться отрисовка нового кадра не

более чем за одну секунду, а также отображение введенных данных. Моделирование пространства и расчет выбранных расстояний будут происходить в режиме реального времени.

Учитывая особенности платформы устройства с операционной системой *iOS* и специфику работы проектируемого ПС был выбран классический шаблон проектирования *Cocoa Model-View-Controller (MVC)* [4].

Приложение имеет модульную структуру. Основная логика работы программы возложена на модуль обработки изображений. Он отвечает за манипуляции с изображениями, построение трехмерной модели объекта. Модуль вычисления размеров объектов содержит в себе компоненты для расчета габаритов различными способами. Вся пользовательская информация и информация о изображениях хранится в соответствующих моделях. За сохранение пользовательских настроек и результатов работы программы отвечает модуль сохранения данных. Получение данных с сенсора камеры выполняется модулем обработки видеопотока.

Рассмотрим работу основных алгоритмов программного приложения. Алгоритм определения размеров в автоматическом режиме можно разбить на следующие этапы:

1. Построение трехмерной структуры пространства по набору изображений.
2. Получение данных о высоте расположения камеры и пары крайних точек.
3. Определение расстояния между парами точек.
4. Графическое отображение результатов.

В случае определения размеров в ручном режиме выполняются следующие действия:

1. Получение данных о высоте расположения камеры и паре крайних точек.
2. Расчет длины необходимого отрезка.
3. Графическое отображение результатов.

Как уже отмечалось, характерные точки – это исходные данные для любой системы обработки изображений. В случае построения трехмерной структуры по серии снимков особые точки необходимы для осуществления связывания кадров и формирования трехмерных координат характерных точек. Существует ряд алгоритмов нахождения особых точек и построения их дескрипторов, в работе выбран наиболее быстрый из них – *ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF)* [5]. Высокая скорость работы алгоритма является главным требованием в системах обработки изображений в реальном времени.

В основу алгоритма *ORB* положен алгоритм *FAST*. В нем выбирается точка-кандидат P , вокруг которой рассматривается окружность из 16 пикселей. Точка является угловой, если для текущей точки P существуют N смежных пикселей на окружности, интенсивности которых больше интенсивности точки P или интенсивности всех N пикселей меньше интенсивности данной точки. Если число N превышает некоторое заранее заданное пороговое значение (для 16 пиксельной окружности пороговое значение равно 12), то точка считается особой. Такая проверка выполняется для каждого пикселя изображения. Однако точки, найденные с помощью алгоритма *FAST*, не удовлетворяют свойству инвариантности. В связи с этим применяются следующие улучшения. Для инвариантности к масштабированию использован алгоритм, основанный на пирамиде Гаусса. Введен параметр угловой ориентации, позволяющий добиться устойчивости детектирования при вращении. Он основан на направлениях градиента яркости относительно рассматриваемой точки. Направление с наибольшей интенсивностью назначается ориентацией особой точки θ .

Далее для найденных точек строится *BRIEF*-дескриптор. Он представляется в виде вектора длиной 256 элементов, состоящего из результатов бинарных тестов вокруг особой точки. В окрестности 31×31 пиксель сравниваются средние значения яркостей между x и y , где x, y – области 5×5 пикселей

$$\tau(I; x; y) := \begin{cases} 1 : I_x < I_y \\ 0 : I_x \geq I_y \end{cases}, \quad (7)$$

где I – средняя яркость выбранной области.

Для достижения инвариантности к вращению область вычисления дескриптора ориентируется по ранее найденной ориентации характерной точки θ . Все 256 наборов x_i и y_i формируют матрицу S размерностью $2 \times n$, где $n = 256$. Матрица S с помощью матрицы поворота R_θ ориентируется в соответствии с углом θ :

$$S_\theta = R_\theta S. \quad (8)$$

Сам вектор дескриптора описывается как

$$g_n(I, \theta) := f_n(I) | (x_i, y_i) \in S_\theta, \quad (9)$$

где $f_n(I) := \sum_{1 \leq i \leq n} 2^{i-1} \tau(I; x_i, y_i)$.

В алгоритме нахождения особых точек на изображении сначала задается радиус окрест-

ности исследуемого пикселя. Затем в выбранной окрестности анализируется каждый пиксель изображения и устанавливается, является ли он особым. На следующем шаге выполняется уточнение ориентации каждой особой точки, чтобы в дальнейшем с помощью серии бинарных тестов установить направление дескриптора каждого пикселя. Последним шагом алгоритма является формирование результирующих векторов дескрипторов.

Хотя в задачах стереозрения принято оперировать однородными координатами точек, но, чтобы иметь возможность рассчитывать какие-либо расстояния в трехмерном пространстве, необходимо также располагать координатами этих же точек в Евклидовом пространстве. Входными данными для алгоритма, определяющего координаты точек в Евклидовом пространстве, является пара изображений и наборы особых точек для каждого из них в однородных координатах. Сначала методом триангуляции рассчитываются трехмерные координаты точек пространства, затем координаты найденных точек переводятся из особых координат в Евклидовы.

Учитывая специфику работы с изображениями, снятыми на камеру, нужно принимать во внимание возможную дисторсию камеры и вероятность существования лишних особых точек. В связи с этим к нахождению координат добавляются еще два действия:

1) коррекция координат точек с учетом дисторсии;

2) проверка погрешности повторного проецирования найденных в трехмерном пространстве точек на исходные изображения.

Последнее действие подразумевает оценку расстояния между особой точкой на изображении и ее повторной проекцией. Это расстояние не должно превышать некоторой заранее заданной величины.

Результатом работы алгоритма построения модели объекта является облако точек в трехмерных координатах, которое в дальнейшем может быть использовано для расчета расстояний между этими точками.

Методика работы с мобильным приложением. Входными данными для работы программного приложения являются данные, получаемые с камеры устройства, а также высота расположения камеры, введенная пользователем. В случае измерения размеров вручную необходимы данные о калибровке устройства относительно измеряемого объекта. Калибровка выполняется по

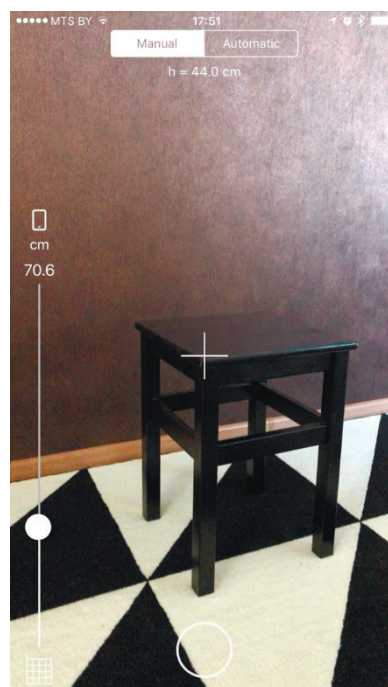
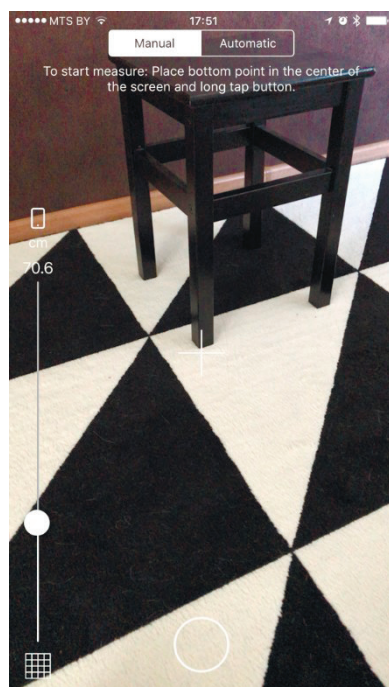


Рис. 2, 3. Выделение нижней и верхней точек объекта
Fig. 2, 3. Selection of the bottom and top points of the object

двум ключевым точкам, выбранным пользователем. Эти точки должны располагаться на равном расстоянии от объектива камеры.

Выходные данные при работе ПС в автоматическом режиме:

- отображение ключевых точек моделируемого пространства;
- значения длин выбранных расстояний.

Выходные данные в ручном режиме:

- отображение длины измеренного отрезка;
- расстояние до измеряемого объекта.

При измерении высоты интересующего объекта вручную обязательными являются следующие действия:

- 1) установка высоты расположения устройства;
- 2) поочередное размещение маркера центра изображения в позиции нижней и верхней точек объекта.

Этапы ручного измерения высоты объекта показаны на рисунках 2 и 3.

Единицы измерения высоты объекта совпадают с единицами измерения заданной ранее высоты расположения устройства. Примеры результатов определения высоты различных объектов представлены на рисунках 4 и 5.

Для работы в автоматическом режиме пользователю необходимо выполнить следующие действия:

- 1) установить высоту расположения устройства;

- 2) поместить маркер центра изображения в позицию начальной точки измеряемого расстояния;

- 3) запустить построение трехмерной модели;

- 4) поместить маркер центра объекта в позицию конечной точки объекта.

Единицы измерения расстояний совпадают с единицами измерения заданной высоты расположения устройства. Результаты измерений в автоматическом режиме приведены на рисунке 6. Результаты моделирования объекта на рисунке 6 представлены на рисунках 7, 8:

Единицы измерения высоты объекта совпадают с единицами измерения заданной ранее высоты расположения устройства. Примеры результатов определения высоты различных объектов представлены на рисунках 4 и 5.

Для работы в автоматическом режиме пользователю необходимо выполнить следующие действия:

- 1) установить высоту расположения устройства;

- 2) поместить маркер центра изображения в позицию начальной точки измеряемого расстояния;

- 3) запустить построение трехмерной модели;

- 4) поместить маркер центра объекта в позицию конечной точки объекта.

Единицы измерения расстояний совпадают с единицами измерения заданной высоты расположения устройства. Результаты измерений в ав-



Рис. 4, 5. Результаты измеренной высоты объектов
 Fig. 4, 5. Results of measured object heights

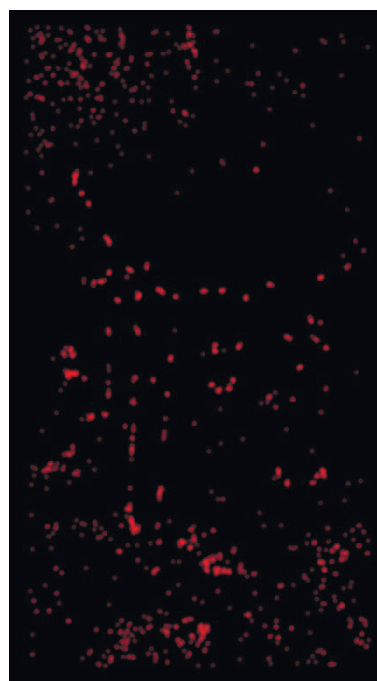
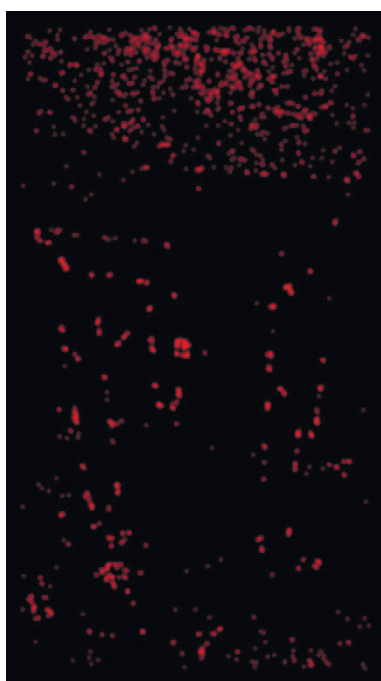
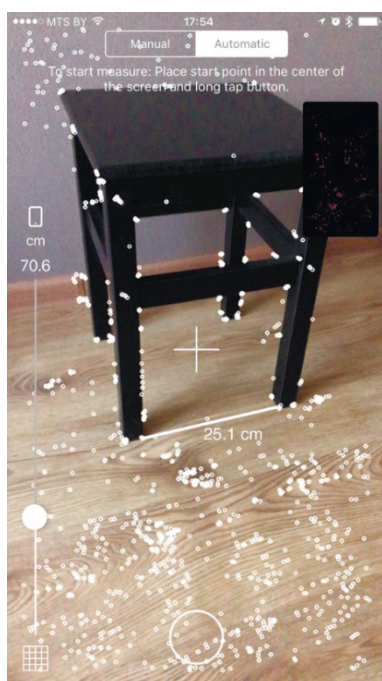


Рис. 6, 7, 8. Результаты измерений и моделирования объектов в автоматическом режиме
 Fig. 6, 7, 8. Results of measurements and modeling of objects in automatic mode

томатическом режиме приведены на рисунке 6. Результаты моделирования объекта на рисунке 6 представлены на рисунках 7, 8.

Заключение. Результаты данной работы носят научно-практический характер. Была предложена математическая модель построения трехмерных моделей объектов на основе их двухмерных изображений и особых точек. С учетом технических и программных особенностей класса

мобильных устройств, для которых создавалось программное приложение, была выбрана наиболее подходящая архитектура ПС.

Приложение имеет модульную структуру, в которой каждый модуль отвечает за выполнение определенных функций. Реализованы алгоритмы поиска характерных точек на изображении и определения трехмерных координат ключевых точек моделируемой структуры.

Созданное программное приложение способно в автоматическом и ручном режимах определять размеры объектов на изображениях, снятых камерой мобильного устройства. Данное ПС не яв-

ляется прибором точного измерения, однако может успешно применяться в тех случаях, когда в режиме реального времени выполняются измерения, не требующие очень высокой точности результатов.

Список литературы

1. Аленин, В. А. Трехмерная реконструкция объектов из последовательности изображений // Молодой ученый. – 2011. – № 3. Т. 1. – С. 33-36.
2. Основы стереозрения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/130300/>. – Дата доступа 11.12.2020 г.
3. Structure from motion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/301522/>. – Дата доступа 11.12.2020 г.
4. CocoaCore MVC //Apple Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.apple.com/library/content/documentation/General/Conceptual/DevPedia-CocoaCore/MVC.html/>. – Дата доступа: 11.12.2020 г.
5. Ethan Rublee, Vincent Rabaud, ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/221111151_ORB_an_efficient_alternative_to_SIFT_or_SURF. – Дата доступа: 11.12.2020 г.

References

1. Alenin, V. A. Trekhmernaya rekonstruktsiya ob"yektov iz posledovatel'nosti izobrazheniy [3D reconstruction of objects from a images sequence] // Molodoy uchenyy. – 2011. №3. Vol. 1. – Pp. 33-36. (in Russian)
2. Osnovy stereozreniya. [Basics of stereo vision] Available at: <https://habr.com/ru/post/130300/> (accessed: 11.12.2020). (in Russian).
3. Structure from motion. Available at: <https://habr.com/ru/post/301522/> (accessed: 11.12.2020).
4. CocoaCore MVC //Apple Documentation. Available at: <https://developer.apple.com/library/content/documentation/General/Conceptual/DevPedia-CocoaCore/MVC.html/> (accessed: 11.12.2020).
5. Ethan Rublee, Vincent Rabaud, ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. Available at: https://www.researchgate.net/publication/221111151_ORB_an_efficient_alternative_to_SIFT_or_SURF/ (accessed: 11.12.2020).

Received: 22.12.2020

Поступила: 22.12.2020

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ И ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ ДЛЯ ЖУРНАЛА «ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

В журнале «Цифровая трансформация» публикуются материалы по техническим и экономическим отраслям наук, имеющие определенное научное значение, теоретическую и практическую значимость, ранее не публиковавшиеся.

1. Научная статья — законченное и логически цельное произведение, посвященное конкретному вопросу, разрабатываемому исследователем. Научная статья раскрывает наиболее значимые результаты, полученные исследователем, требующие развернутого изложения и аргументации.

2. Объем научной статьи, учитываемой ВАК, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.).

3. Научная статья должна включать следующие элементы (в порядке расположения):

- индекс УДК;
- название статьи* (оно должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, содержать ключевые слова);
- фамилию и инициалы автора (авторов) статьи, должность и место работы, ученую степень и ученое звание, e-mail, ORCID ID*;
- аннотацию*;
- ключевые слова* (до 15 слов);
- введение (должно содержать цель работы, отражать ее новизну и актуальность);
- основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);
- заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;
- список цитированных источников*.

4. Аннотация должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированной (следовать логике описания результатов в статье);
- компактной, однако иметь достаточный объем для отражения содержания статьи (укладываться в объем от 100 до 300 слов).

В аннотации следует сформулировать цель исследования, выделить научную новизну работы (отличия от предыдущих исследований по данной теме), указать использованные методы исследования, описать основные результаты работы, а также фактические и возможные области их применения. Для описания исследования в аннотации следует использовать прошедшее время.

5. Статья направляется в редакцию на русском, белорусском или английском языках по электронной почте (на адрес journal@unibel.by) или с помощью формы на сайте в формате текстового редактора Microsoft Word (название документа — заголовок статьи).

6. Параметры оформления основного текста статьи в Microsoft Word:

- верхнее и нижнее поля — 1,5 см;
- левое и правое поле — 2,5 см;
- междустрочный интервал — 1,5;
- гарнитура — Times;
- размер кегля — 14 пт;
- отступ абзаца — 1,25 см.

Параметры оформления дополнительного текста (информация об авторе, аннотация, ключевые слова, список цитированных источников, подрисуночные подписи, заголовки и текст таблиц и др.):

- междустрочный интервал — одинарный;
- гарнитура — Times;
- размер кегля — 12 пт.

Переносы в тексте должны быть отключены.

7. В отдельном документе необходимо указать сведения об авторе (ах):

- фамилия, имя, отчество (полностью);
- должность и место работы;

* на русском (белорусском) и английском языках

- ученая степень и звание;
- почтовый адрес, номер контактного телефона, адрес электронной почты;
- подтверждение того, что материалы, содержащиеся в тексте статьи, не содержат информации ограниченного распространения и печатаются впервые.

При наличии нескольких авторов должно быть указано, кто отвечает за переписку.

8. Рисунки размещаются как в полном тексте работы, так и в виде отдельных файлов с разрешением не менее 300 dpi. Все рисунки должны иметь подписи*.

Графики предоставляются в полном тексте работы и в отдельном файле в формате Microsoft Excel с цифровым материалом, по которому построены графики.

Формулы оформляются с помощью редактора формул Microsoft Equation.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок*.

Все рисунки, формулы и таблицы должны быть пронумерованы.

9. Ссылки на литературу даются в квадратных скобках. Перечень источников в порядке появления в тексте приводится под заголовком «Список литературы» в конце статьи. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003.

Список литературы должен включать авторитетные научные публикации по теме статьи, в том числе на иностранном языке. Ссылки на собственные работы авторов не должны составлять более трети от общего числа публикаций, включенных в список литературы.

Полные правила оформления и предоставления статей с примерами составления списков литературы на русском и английском языках представлены на сайте <http://dt.gias.by>.

* на русском (белорусском) и английском языках

AUTHOR GUIDELINES OF THE JOURNAL "DIGITAL TRANSFORMATION"

The journal publishes materials on technical and economic sciences, having a certain scientific significance, theoretical and practical significance, previously not published.

1. The article should be submitted to the editors in Russian, Belarusian or English languages by e-mail journal@unibel.by or by form on the site as a Microsoft Office Word document (*.doc, *.docx and *.rtf formats).

2. The volume of scientific article should be at least 0.35 of the author's sheet (14,000 characters, including spaces between words, punctuation marks, numbers, etc.).

3. Scientific articles should include the following elements (in order of location):

– UDC index (see <https://teacode.com/online/udc/>);
– title of the article* (it should reflect the main idea of the research, be as brief as possible, contain keywords);

– name and initials of the author (authors) of the article, position and place of work, academic degree and academic title, e-mail, ORCID ID* ;

– abstract*;

– keywords* (up to 15 words);

– introduction (it should contain the purpose of the work, reflect its novelty and relevance);

– the main part, including graphs and other illustrative material (if any);

– conclusion, concluded with clearly formulated conclusions;

– references*.

4. The abstract should be:

– informative (should not contain common words);

– substantial (reflecting the main content of the article and the results of the research);

– structured (follow the logic of describing the results in the article);

– compact, but have enough volume to reflect the content of the article (fit into the volume from 100 to 300 words).

The abstract should state the purpose of the study, highlight the scientific novelty of the work (differences from previous studies on this topic), indicate the used research methods, describe the key research findings, as well as actual and possible areas of their application.

5. Settings for the main text of the article in Microsoft Word:

– margins — 2 cm;

– line spacing — 1,5;

– font — Times;

– font size — 14 pt;

– line spacing — 1.25 cm.

Options for additional text (information about the author, abstract, keywords, list of quoted sources, captions, headings and text of tables, etc.):

– line spacing — 1;

– font — Times;

– font size — 12 pt.

6. In a separate document it is necessary to indicate information about the author (s) (the form is attached):

– Surname, name, patronymic (in full);

– position and place of work;

– academic degree and title;

– postal address, contact phone number, e-mail address;

– confirmation that the materials contained in the text of the article do not contain information of limited distribution and are printed for the first time.

If there are several authors, a person responsible for the correspondence should be indicated.

The article provided in paper form must be signed by all authors.

7. Drawings should be placed both in the full text of the work, and as separate files with a resolution of at least 300 dpi.

The graphs should be provided in the full text of the work and in a separate file in Microsoft Excel format with digital material on which the graphs are built.

* in Russian (in Belarusian) and in English

Formulas are formalized using the Equation Formula Editor.

Tables are located directly in the text of the article. Each table must have a header.

All figures, formulas and tables should be numbered.

8. References to the literature are given in square brackets. The list of sources in the order of appearance in the text is given under the heading "References" at the end of the article.

References should include authoritative scientific publications on the topic of the article, including papers in a foreign language. References to authors' own works should not constitute more than a third of the total number of publications included in the list of references.

Full Author Guidelines in Russian and English are available at <http://dt.giac.by>.