

С.В. Онищенко, А.В. Козловский, Э.В. Мельник

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО МЕТОДА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ
НА ИЗОБРАЖЕНИИ**

В настоящее время развитие различных систем автоматизации процессов с каждым днем находит все более широкое применение в различных областях и отраслях остается актуальной задача разработки методов обеспечения для соответствующих автоматизированных систем. Одной из отраслей, где востребовано использование и применение систем автоматизации процессов, является область бесконтактного измерения объектов и их параметров. В качестве примера была выбрана задача по определению геометрических параметров круглых лесоматериалов, уложенных в штабеля. В связи с этим в данной работе были предложены методы для определения геометрических параметров объектов на основе операций математической морфологии, организованный с использованием детектора Канны и алгоритма Хафа, и метод с использованием нейросетевого подхода, на основе архитектуры сверточной нейронной сети YOLOv5. В результате проведенных экспериментальных исследований, для организации которых использовались специально изготовленные на 3d-принтере модели бревен, было установлено что метод на основе использования нейронных сетей является более точным по сравнению с методом на основе математической морфологии. При решении задачи подсчета количества объектов на изображении, с использованием метода на основе нейросетевого подхода были определены все объекты, расположенные на изображении, тогда как метод с использованием операций математической морфологии смог определить лишь 13 из 16 расположенных бревен, и определил один ложный объект, в результате чего ошибка результата составила порядка 19% для изображения полученного из Интернета. При проведении эксперимента на изготовленных моделях цилиндров, метод на основе операций математической морфологии показал неудовлетворительные результаты. Еще одним достоинством метода на основе нейросетевого подхода является возможность реализации вычисления площади торцов бревен на изображении и определение объема каждого из расположенных бревен в штабеле, а также общего суммарного объема всей пачки измеряемых круглых лесоматериалов.

Бесконтактные методы измерения; геометрические параметры объектов; детектор Канны; алгоритм Хафа; YOLOv5; математическая морфология; сверточные нейронные сети.

S.V. Onishchenko, A.V. Kozlovsky, E.V.Melnik

**DEVELOPMENT OF A HIGH-PERFORMANCE METHOD
FOR DETERMINING THE GEOMETRIC PARAMETERS OF OBJECTS
IN THE IMAGE**

Currently, the development of various process automation systems is becoming more widely used every day in various fields and industries, the task of developing software methods for the corresponding automated systems remains urgent. One of the industries where the use and application of process automation systems is in demand is the field of non-contact measurement of objects and their parameters. As an example, the task of determining the geometric parameters of round timber stacked was chosen. In this regard, in this paper, methods were proposed for determining the geometric parameters of objects based on mathematical morphology operations, organized using the Canny detector and the Hough algorithm, and a method using a neural network approach based on the architecture of the YOLOv5 convolutional neural network. As a result of the conducted experimental studies, for the organization of which specially 3d-printed models of logs were used, it was found that the method based on the use of neural networks is more accurate than the method based on mathematical morphology. When solving the problem of counting the number of objects in the image, using the method based on the neural network approach, all objects located in the image were determined, whereas the method using mathematical morphology

operations was able to determine only 13 of the 16 logs located, and I identified one false object, as a result of which the result error was about 19% for an image obtained from the Internet. When conducting an experiment on manufactured cylinder models, the method based on mathematical morphology operations showed unsatisfactory results. Another advantage of the method based on the neural network approach is the possibility of calculating the area of the ends of logs in the image and determining the volume of each of the logs located in the stack, as well as the total total volume of the entire pack of measured round timber.

Contactless measurement methods; geometric parameters of objects; Canny detector; Hough algorithm; YOLOv5; mathematical morphology; convolutional neural networks.

Введение. На настоящий момент в современном мире все более широкое распространение получает автоматизация различных областей производства и различных отраслей экономического хозяйства. Одним из примеров может послужить область организации измерения геометрических параметров объектов. Для решения подобных задач может использоваться множество методов, одним из которых является использование бесконтактного подхода по организации измерений параметров объектов, позволяющего без организации дополнительных трудоемких действий получить искомые результаты [1].

Данный подход можно подразделить на два больших класса состоящих из активных и пассивных способов получения информации об измеряемом объекте. Поскольку организация активных способов требует приобретения специализированных устройств, например таких как PMD-камеры [2,3], наиболее оптимальным будет использовать пассивные способы, позволяющие ограничиться лишь изображениями измеряемых объектов, что позволяет использовать методы из теории распознавания образов [4].

Развитие данного направления позволило производить в автоматизированном режиме идентификацию различных объектов на изображениях, производить их подсчет, определять их размеры и классифицировать их по типу. Распознавание объектов может использоваться в самых различных отраслях, таких как: архитектура, дорожное строительство, медицина, различные системы безопасности, системы распознавания дорожных знаков и регистрационных номеров автомобилей и т.д.

Становится понятно, что создание некоторых комплексов, позволяющих производить учет необходимых нам объектов является актуальной задачей. Однако, предварительным этапом является разработка методов и алгоритмов, на основе которых будет происходить функционирование данных устройств учета и измерения.

В качестве задачи, для которой необходимо разработать метод можно выбрать задачу подсчета количества бревен в штабеле лесоматериалов, а также определение их геометрических параметров таких как площади торцов бревен и объем каждого из измеряемых бревен, поскольку в предыдущих работах была рассмотрена актуальность решения данной задачи [5–7].

Существующие методы для решения задачи подсчета количества круглых лесоматериалов и определения их геометрических параметров зачастую реализуются за счет использования нескольких подходов, в результате чего их использование затрудняется за счет сложной корректировки параметров настройки для обработки изображений, а точность получаемых за счет их применения результатов остается недостаточно высокой [7, 9], в связи с чем предлагается произвести реализацию подхода, позволяющего комплексно определять такие параметры складированных круглых лесоматериалов как подсчет их количества, площадь торцевых сечений, объемы бревен в всего штабеля в целом.

Материалы и методы. В целом, можно сказать, что в геометрии под параметрами объектов зачастую понимаются признаки такие как: положение в пространстве, формы объектов и величины, которые позволяют выделять различные множества однотипных объектов или единственный объект [10].

Для решения задачи по определению геометрических параметров объектов на изображении необходимо использовать наиболее оптимальные методы, обладающие высокой производительностью, к которым можно отнести подход, основанный на операциях математической морфологии и подход с использованием различных архитектур нейронных сетей.

Для определения совокупности геометрических параметров объектов прежде всего необходимо определить геометрическую форму объекта и произвести подсчет количества данных объектов, относящихся к одной классификации, для чего достаточно хорошо подходит подход, основанный на операциях математической морфологии [11]. Если будут определены две этих величины, то тогда можно будет говорить о возможности решения задачи расчета и получения точных численных значений, например таких как ширина, длина, глубина объектов их объемы и даже массы, но нахождение прочих характеристик при использовании данного подхода является не простой, поскольку необходима организация динамической подстройки параметров в алгоритме в зависимости от каждого обрабатываемого изображения.

В связи с этим, для реализации возможности определения таких параметров как площадь торцов бревен и их объемы предлагается реализовать метод на основе использования сверточных нейронных сетей, позволяющий производить классификацию объектов по принадлежности их к определенному типу, производить подсчет объектов одного типа, определение площади каждого из определенных объектов и в дальнейшем их объемов, при условии, что изначальные параметры длин бревен, уложенных в штабель нам известны.

Было произведено сравнение предложенных подходов при решении задачи определения количества объектов, расположенных на изображении, для определения наиболее точного из них и рассмотрения возможности совместного применения с существующими подходами.

Методы будут исследованы на примере штабелей круглых лесоматериалов, а для полной верификации предлагается использовать специально изготовленные на 3d-принтере цилиндрические модели, имеющие строго определенными геометрическими параметрами.

Метод на основе операций математической морфологии. При использовании данного, подхода можно с легкостью провести детектирование границ объектов, принадлежащих к одному из заранее определенных классов и осуществить подсчет количества объектов этого типа.

Для этого можно применить библиотеку OpenCV [12], используя которую можно будет вызвать детектор Канни, необходимый для определения контуров объектов на изображении [13]. Как правило, имеется необходимость производить предварительную подготовку изображения для повышения его качества и удаления различных шумов, однако мы рассматриваем случай, когда используется уже предварительно обработанное изображение, поэтому эти процедуры для нас являются необязательными. Обязательным этапом является конвертация изображения в черно-белый формат, поскольку работа детектора Канни возможно только в таком виде, и сам результат работы будет представлен в виде бинарного изображения [14].

Метод `canny()` основываясь на пороговой фильтрации изображения производит операцию по определению границ контуров объектов, в результате чего получается бинарное изображение, где белыми пикселями выделяются детектированные границы изображения.

Следующим этапом организуется этап, позволяющий за счет применения операций математической морфологии устранить прерывистость контуров объектов, полученных при помощи использования детектора Канни. Основными параметрами являются параметры пороговых значений, изменение величины которых позволяет определить, насколько точно будут идентифицироваться границы исследуемых объектов.

После необходимо реализовать процедуру, которая позволит провести подсчет объектов одного типа, для чего необходимо использовать подход с применением алгоритма Хафа [15]. Одним из недостатков данного метода является то, что для работы с новым изображением может потребоваться калибровка предустановленных параметров, что снижает его универсальность даже при работе с одним исследуемым классом объектов.

На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма предлагаемого метода для определения геометрических параметров использованием операций математической морфологии:

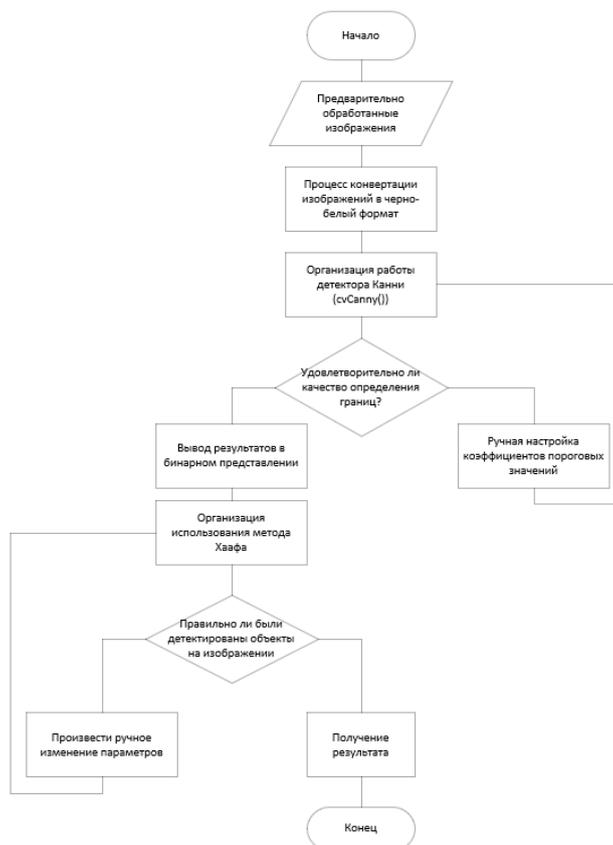


Рис. 1. Блок-схема алгоритма для метода определения геометрических параметров объектов на основе операций математической морфологии

При использовании подхода, основанного на операциях математической морфологии, реализуется этап нахождения объектов на изображении и процедура подсчета их общего количества. Для решения задачи по определению площади торцевых сечений и объемов измеряемых объектов предлагается рассмотреть метод, основанный на использовании нейросетевого подхода.

Метод определения геометрических параметров на основе использования сверточных нейронных сетей. В данном методе используется архитектура сверточных нейронных сетей, а именно архитектура YOLOv5, поскольку данный вид архитектуры наилучшим образом подходит для решения задач, связанных с обработкой изображений и определением объектов, изображенных на них [16].

Поскольку в качестве объектов измерения выбраны круглые лесоматериалы, расположенные в штабелях, задача определения площади может быть сведена к нахождению радиуса каждого из бревен, после чего будет необходимо вычислить площадь каждого из сечений торцов бревен, форма которых с некоторой погрешностью может быть интерпретирована как круг [17]:

$$S_{\text{тор}} = \pi R_{\text{тор}}^2, \quad (1)$$

где $R_{\text{тор}}$ – числовое значение радиуса торца измеряемого объекта.

После чего объем каждого из бревен может быть вычислен по формуле нахождения объема цилиндра:

$$V_{\text{бр}} = S_{\text{тор}} H = \pi R_{\text{тор}}^2 H, \quad (2)$$

где H – длина измеряемых лесоматериалов, которая как правило известна заранее и не требует вычисления.

Для нахождения объема всех измеряемых лесоматериалов, находящихся в штабеле необходимо произвести суммирование объемов каждого из бревен:

$$V_{\text{общий}} = \sum_i^n V_{i \text{ бр}}, \quad (3)$$

где n – количество распознанных бревен в общем штабеле, $V_{i \text{ бр}}$ – объем одного измеренного бревна.

Поскольку нам необходим некоторый маркер, в сравнении с которым мы сможем определить интересующие нас параметры, мы предполагаем необходимость ввода радиуса самого большого бревна в ручном режиме. Для нахождения объема необходимо ввести длину бревен в штабеле, но эта величина как правило известна заранее и не требует дополнительных измерений.

На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма нейросетевого метода определения геометрических параметров объектов [18].



Рис. 2. Блок-схема алгоритма для нейросетевого метода по определению геометрических параметров объектов на изображении

Далее, согласно методу с применением сверточных нейронных сетей, была реализована возможность для определения площади торцов бревен и их общего объема, что представлено ниже фрагментом кода:

```

middle_half_max = 0 # Максимальный радиус в пикселях
for res in results.xyxy[0]: # Анализ каждого объекта
    (tl, tr, br, bl) = [res[0], res[1]], [res[2], res[1]], [res[2], res[3]], [res[0],
res[3]] # Созданием массива из 4-х координат углов
    (tblX, tblY) = midpoint(tl, bl) # Середина грани
    (trbrX, trbrY) = midpoint(tr, br) # Середина грани
    dB = dist.euclidean((tblX, tblY), (trbrX, trbrY)) # Поиск расстояния между
гранями
    if (dB / 2) / 2 > middle_half_max: # Поиск самого большого радиуса в пикселях
        middle_half_max = (dB / 2) / 2
    print('MAX: ' + str(middle_half_max)) # Вывод самого большого радиуса в
пикселях
    sum = 0
    for res in results.xyxy[0]:
        (tl, tr, br, bl) = [res[0], res[1]], [res[2], res[1]], [res[2], res[3]], [res[0], res[3]]
        (tblX, tblY) = midpoint(tl, bl)
        (trbrX, trbrY) = midpoint(tr, br)
        dB = dist.euclidean((tblX, tblY), (trbrX, trbrY))
        rad = (dB / 2) / 2 # Вычисление радиуса в пикселях
        pixelsPerMetric = middle_half_max / float(self.sm.text) # Получение метрики
зависимости пикселя от радиуса
        rad = rad / pixelsPerMetric
        area = math.pi * (rad**2)
        V = area * float(self.dlin.text)
        sum += V
    print("Радиус: " + str(rad) + " см |" + "Площадь: " + str(area) + "см^2 |" +
"Объем: " + str(V) + " см^3")

```

После того как задан радиус самого большого из измеряемых объектов, происходит присвоение данного значения самому крупному идентифицированному объекту на изображении, после чего находится коэффициент связи между линейным размером и пикселями на изображении.

После получения метрики зависимости числового значения пикселя от радиуса становится возможным определить радиусы всех остальных объектов, расположенных на изображении, после чего уже происходил вычисление площади торца бревна для каждого объекта и последующее нахождение объема согласно формуле (2).

Экспериментальные исследования предлагаемых методов. Для проведения экспериментальных исследований ранее рассмотренных методов использовались изображения бревен, полученные из Интернета и изображение, полученное путем съемки изготовленных моделей на камеру мобильного телефона. Обучение производилось с использованием фотографий с изображением круглых лесоматериалов, уложенных в штабеля.

Для первого этапа эксперимента использовались изображения круглых лесоматериалов, уложенные в штабель, полученные из Интернета. В результате тестирования методов для решения задачи определения количества объектов на изображении были получены следующие результаты, представленные на рисунке ниже (рис. 3).



Рис. 3. Результат подсчета количества бревен для метода с использованием математической морфологии и метода на основе сверточных нейронных сетей на примере изображения из Интернета

В результате определено, что подход на основе математической морфологии позволил идентифицировать 13 из 16 расположенных объектов на изображении, и при этом выделил еще один ложный объект, в результате чего ошибка точности идентификации объектов составила порядка 19% [19]. Метод на основе сверточных нейронных сетей позволил определить все 16 объектов, а в качестве 17 объекта был определен с вероятностью равной 72% фрагмент бревна, расположенного слева на изображении, что может быть разрешено за счет изменения порога вероятности определения объектов, в результате чего объекты вероятность принадлежности которых к определенному классу ниже установленной не будут идентифицированы и учтены.

На следующем этапе были использованы изображения изготовленных моделей, а результат выполнения операции идентификации и подсчета объектов представлен на рис. 4.

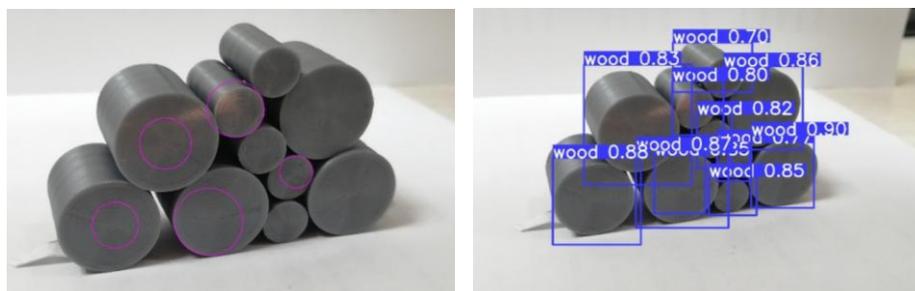


Рис. 4. Результат подсчета количества объектов для метода с использованием математической морфологии и метода на основе сверточных нейронных сетей на примере изображения с 3d моделями

В результате мы видим, что метод на основе нейронных сетей так же успешно произвел определение объектов на изображении, определив все 10 объектов, в то время как подход на основе математической морфологии показал неудовлетворительные результаты, что связано с фактом необходимости подстройки параметров алгоритма для каждого обрабатываемого изображения.

Следующим этапом являлась организация расчета площади торцов объектов и их объемов с использованием метода на основе нейронных сетей, поскольку метод на основе математической морфологии сложноадаптируем для решения данной задачи [20]. В результате проведенного измерения были получены следующие результаты, представленные на рис. 5.

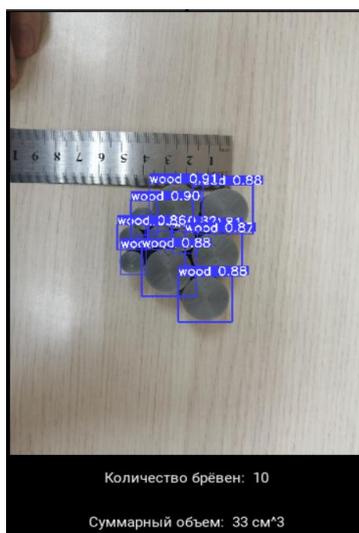


Рис. 5. Результат определения количества объектов на изображении и их общего объема с использованием метода на основе нейронных сетей

Поскольку изначальные параметры изготовленных моделей нам были известны, возможно оценить точность полученных результатов. При определении радиуса каждого объекта наибольшая ошибка расчета составила не более 7%, для определения значений площади торцов объектов наибольшее отклонение составило 9,32% как и для определения объема каждого из объектов.

Заключение. В результате выполненной работы были предложены два метода для определения геометрических параметров объектов на изображении: на основе математической морфологии и нейросетевого подхода. В результате экспериментальных исследований было установлено, что метод на основе математической морфологии, предназначенный для решения задачи определения классов объектов на изображении и подсчета их общего количества показал точность выполнения процедуры равную 81%, при реализации эксперимента с использованием изображения, полученного из сети Интернет. При использовании изображений ранее изготовленных моделей брусков, метод показал неудовлетворительные результаты, подтверждающие необходимость проведения процедуры корректировки параметров детекторов для работы с каждым конкретным изображением.

Более точным и универсальным оказался второй подход на основе сверточных нейронных сетей, позволяющий не только идентифицировать объект и произвести подсчет их количества, но и осуществить расчет площади сечения объектов и их объема при известном значении радиуса самого большого объекта и их длины. При решении задачи подсчета количества объектов на изображении были идентифицированы и распознаны все объекты, расположенные на нем, а так же определена вероятность принадлежности каждого из объектов к рассматриваемому классу. Было выяснено, что ошибки точности измерения параметров составляют до 9,5%, что в дальнейшем может быть минимизировано за счет более глубокого обучения нейронной сети и осуществления процедур предварительной обработки изображений.

В результате можно сделать вывод, что метод на основе нейросетевого подхода является вполне самостоятельным и может использоваться для решения поставленных задач по определению геометрических параметров объектов, является более точным, многофункциональным, не требует дополнительных изменений параметров при работе с изображением, по сравнению с методом на основе морфологического подхода, а его точность в дальнейшем может быть улучшена за счет организации процедуры предварительной обработки изображений и повышения их качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Peter Kačuch, Miroslav Dovica, Stanislav Slosarč'k, Jozef Kováč.* Comparison of Contact and Contactless Measuring Methods for Form Evaluation // *Procedia Engineering.* – 2012. – Vol. 48. – P. 273-279. – ISSN 1877-7058. – <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.514>.
2. *Adam D., Nissan S. B., Friedman Z., Behar V.* The Combined Effect of spatial compounding and nonlinear Filtering on the Speckle Reduction in Ultrasound Images // *Ultrasonic.* – 2006. – Vol. 44. – P. 166-181.
3. *Beder Chr., Bartczak B. and Koch R.* A Comparison of PMD-Cameras and Stereo-Vision for the Task of Surface Reconstruction using Patchlets // *Computer Vision and Pattern Recognition.* – IEEE, 2007. – P. 1-8.
4. *Чабан Л.Н.* Теория и алгоритмы распознавания образов: учеб. пособие. – М.: МИИГАиК. 2004. – 70 с.
5. *Козловский А.В., Онищенко С.В., Авдеев В.Е.* Исследование методов измерения круглых лесоматериалов // *Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности: Сб. статей VII Всероссийской научно-технической конференции,* Таганрог, 05–11 апреля 2021 г. – Таганрог: ЮФУ, 2021. – С. 357-360.
6. *Онищенко, С.В., Козловский А.В.* Исследование метода определения геометрических параметров объектов по предварительно обработанным цифровым изображениям // *Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2021): Сб. трудов XIX Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов.* – Ростов-на-Дону - Таганрог: ЮФУ, 2020. – С. 59-62.
7. *Мельник Э.В., Онищенко С.В., Козловский А.В.* Исследование возможности реализации мобильных комплексов для бесконтактного измерения геометрических параметров объектов // *Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности: Сб. статей VIII Всероссийской научно-технической конференции.* Таганрог, 2022.
8. *Herbon C., Tonnie K., Stock B.* Detection and segmentation of clustered objects by using iterative classification, segmentation, and Gaussian mixture models and application to wood log detection // *Pattern Recognition.* Springer International Publishing. – 2014. – P. 354-364.
9. *Galsgaard B., Lundtoft D.H., Nikolov I., Nasrollahi K., Moeslund T.B.* Circular Hough Transform and Local Circularity Measure for Weight Estimation of a Graph-Cut Based Wood Stack Measurement // *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, Waikoloa, HI,* 2015. – P. 686-693.
10. *Антюнов В.А.* Начертательная геометрия: курс лекций. – Самара: СамГАПС, 2005. – 64 с.
11. *Lestari Wiji and Sri Sumarlinda.* Application of Mathematical Morphology Algorithm for Image Enhancement Of Breast Cancer Detection. – 2019.
12. *Kavitha D.* Multiple Object Recognition Using OpenCV // *Revista Gestão Inovação e Tecnologias.* – 2021. – No. 11. – P. 1736-1747. – 10.47059/revistageintec.v11i12.1795.
13. *Li J., Ding S.* A research on improved canny edge detection algorithm. In: *Applied Informatics and Communication // ICAIC 2011. Communications in Computer and Information Science.* – Vol. 228. – Springer, Berlin, 2011.
14. *Canny John.* A Computational Approach to Edge Detection. *Pattern Analysis and Machine Intelligence // IEEE Transactions on. PAMI-8.* – 1986. – P. 679-698. – 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
15. *Shehata Allam & Mohammad Sherien & Abdallah Mohamed & Ragab Mohammad.* A Survey on Hough Transform, Theory, Techniques and Applications. – 2015.

16. Zhu Xingkui, Shuchang Lyu, Xu Wang and Qi Zhao. PH-YOLOv5: Improved YOLOv5 Based on Transformer Prediction Head for Object Detection on Drone-captured Scenarios // 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW). – 2021. – P. 2778-2788.
17. Самойлов А.Н., Сергеев Н.Е., Волошин А.В., Козловский А.В. Метод фотограмметрического измерения геометрических параметров объектов, инвариантный к фоторегистрирующим устройствам // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Естественно-математические и технические науки. – 2021. – Вып. 4 (291). – С. 58-69. – URL: <http://vestnik.adygnet.ru>.
18. Бучацкий П.Ю., Онищенко С.В., Теплоухов С.В. Разработка метода определения геометрических параметров объектов на изображении на основе нейросетевого подхода // Вестник Адыгейского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 3. – С. 57-62.
19. Бучацкий П.Ю., Онищенко С.В., Теплоухов С.В. Разработка метода подсчета количества объектов на цифровом изображении на основе морфологического подхода // Дистанционные образовательные технологии: Матер. VII международной научно-практической конференции, Ялта, 20–22 сентября 2022 года. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2022. – С. 120-123.
20. Онищенко С.В., Козловский А.В., Мельник Э.В. Разработка бесконтактной системы измерения геометрических параметров объектов на изображении // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – С. 177-181.

REFERENCES

1. Peter Kačuch, Miroslav Dovica, Stanislav Slosarč'k, JozefKováč. Comparision of Contact and Contactless Measuring Methods for Form Evaluation, *Procedia Engineering*, 2012, Vol. 48, pp. 273-279. ISSN 1877-7058. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.514>.
2. Adam D., Nissan S. B., Friedman Z., Behar V. The Combined Effect of spatial compounding and nonlinear Filtering on the Speckle Reduction in Ultrasound Images, *Ultrasonic*, 2006, Vol. 44, pp. 166-181.
3. Beder Chr., Bartczak B. and Koch R. A Comparison of PMD-Cameras and Stereo-Vision for the Task of Surface Reconstruction using Patchlets, *Computer Vision and Pattern Recognition*. IEEE, 2007, pp. 1-8.
4. Chaban L.N. Teoriya i algoritmy raspoznavaniya obrazov: ucheb. posobie [Theory and algorithms of pattern recognition: textbook]. Moscow: MIIGAiK. 2004, 70 p.
5. Kozlovskiy A.V., Onishchenko S.V., Avdeev V.E. Issledovanie metodov izmereniya kruglykh lesomaterialov [Research of methods for measuring round timber], *Fundamental'nye i prikladnye aspekty komp'yuternykh tekhnologiy i informatsionnoy bezopasnosti: Sb. statey VII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Taganrog, 05–11 aprelya 2021 g.* [Fundamental and applied aspects of computer technologies and information security : collection of articles in the VII All-Russian Scientific and Technical Conference, Taganrog, 05-11 April 2021]. Taganrog: YuFU, 2021, pp. 357-360.
6. Onishchenko, S.V., Kozlovskiy A.V. Issledovanie metoda opredeleniya geometricheskikh parametrov ob"ektov po predvaritel'no obrabotannym tsifrovym izobrazheniyam [Research of a method for determining geometric parameters of objects from preprocessed digital images], *Informatsionnye tekhnologii, sistemnyy analiz i upravlenie (ITSAU-2021): Sb. trudov XIX Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov* [Information technologies, system analysis and management (ITSAU-2021): Proceedings of the XIX All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, postgraduates and students]. Rostov-on-Don - Taganrog: YuFU, 2020, pp. 59-62.
7. Mel'nik E.V., Onishchenko S.V., Kozlovskiy A.V. Issledovanie vozmozhnosti realizatsii mobil'nykh kompleksov dlya beskontaktnogo izmereniya geometricheskikh parametrov ob"ektov [Investigation of the possibility of implementing mobile complexes for contactless measurement of geometric parameters of objects], *Fundamental'nye i prikladnye aspekty komp'yuternykh tekhnologiy i informatsionnoy bezopasnosti: Sb. statey VIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference "Fundamental and applied aspects of computer technology and information security"]. Taganrog, 2022.

8. *Herbon C., Tonnies K., Stock B.* Detection and segmentation of clustered objects by using iterative classification, segmentation, and Gaussian mixture models and application to wood log detection, *Pattern Recognition. Springer International Publishing*, 2014, pp. 354-364.
9. *Galsgaard B., Lundtoft D.H., Nikolov I., Nasrollahi K., Moeslund T.B.* Circular Hough Transform and Local Circularity Measure for Weight Estimation of a Graph-Cut Based Wood Stack Measurement, *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, Waikoloa, HI*, 2015, pp. 686-693.
10. *Antipov V.A.* Nachertatel'naya geometriya: kurs lektsiy [Descriptive geometry: a course of lectures]. Samara: SamGAPS, 2005, 64 p.
11. *Lestari Wiji and Sri Sumarlinda.* Application of Mathematical Morphology Algorithm for Image Enhancement of Breast Cancer Detection, 2019.
12. *Kavitha D.* Multiple Object Recognition Using OpenCV [Recognition of Multiple Objects Using OpenCV], *Revista Gestão Inovação e Tecnologias [Revision of the Concept of innovation and technology]*, 2021, No. 11, pp. 1736-1747. 10.47059/revistageintec.v11i2.1795.
13. *Li J., Ding S.* A research on improved canny edge detection algorithm. In: Applied Informatics and Communication, *ICAIC 2011. Communications in Computer and Information Science*, Vol. 228. Springer, Berlin, 2011.
14. *Canny John.* A Computational Approach to Edge Detection. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. PAMI-8*, 1986, pp. 679-698. 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
15. *Shehata Allam & Mohammad Sherien & Abdallah Mohamed & Ragab Mohammad.* A Survey on Hough Transform, Theory, Techniques and Applications, 2015.
16. *Zhu Xingkui, Shuchang Lyu, Xu Wang and Qi Zhao.* PH-YOLOv5: Improved YOLOv5 Based on Transformer Prediction Head for Object Detection on Drone-captured Scenarios, *2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW)*, 2021, pp. 2778-2788.
17. *Samoylov A.N., Sergeev N.E., Voloshin A.V., Kozlovskiy A.V.* Metod fotogrammetricheskogo izmereniya geometricheskikh parametrov ob'ektov, invariantnyy k fotoregistriruyushchim ustroystvam [The method of photogrammetric measurement of geometric parameters of objects, invariant to photo-recording devices], *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki [Bulletin of the Adygea State University. Ser.: Natural-mathematical and technical sciences]*, 2021, Issue. 4 (291), pp. 58-69. Available at: <http://vestnik.adygnet.ru>.
18. *Buchatskiy P.Yu., Onishchenko S.V., Teploukhov S.V.* Razrabotka metoda opredeleniya geometricheskikh parametrov ob'ektov na izobrazhenii na osnove neyrosetevogo podkhoda [Development of a method for determining geometric parameters of objects in an image based on a neural network approach], *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Bulletin of the Adygea State University. Technical sciences]*, 2022, No. 3, pp. 57-62.
19. *Buchatskiy P.Yu., Onishchenko S.V., Teploukhov S.V.* Razrabotka metoda podscheta kolichestva ob'ektov na tsifrovom izobrazhenii na osnove morfologicheskogo podkhoda [Development of a method for counting the number of objects in a digital image based on a morphological approach], *Distantsionnye obrazovatel'nye tekhnologii: Mater. VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, YAlta, 20–22 sentyabrya 2022 goda [Distance learning technologies: Materials of the VII International Scientific and Practical Conference, Yalta, September 20-22, 2022]*. Simferopol': Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «Izdatel'stvo Tipografiya «Arial», 2022, pp. 120-123.
20. *Onishchenko S.V., Kozlovskiy A.V., Mel'nik E.V.* Razrabotka beskontaktnoy sistemy izmereniya geometricheskikh parametrov ob'ektov na izobrazhenii [Development of a contactless system for measuring geometric parameters of objects in an image], *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya Tula State University. Technical sciences]*, 2022, pp. 177-181.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор Г.В. Куповых.

Онищенко Стефан Владимирович – Адыгейский государственный университет; e-mail: osv@adygnet.ru; г. Майкоп, Россия; кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления; ассистент.

Мельник Эдуард Всеволодович – Южный федеральный университет; e-mail: evmelnik@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; д.т.н.

Козловский Александр Вячеславович – e-mail: kozlovskiy@sfnu.ru; кафедра вычислительной техники; аспирант.

Onishchenko Stefan Vladimirovich – Adygea State University; e-mail: osv@adygnet.ru; Maykop, Russia; the department of automated information processing and management systems; assistant.

Melnik Eduard Vsevolodovich – Southern Federal University; e-mail: evmelnik@sfnu.ru; Taganrog, Russia; dr. of eng. sc.

Kozlovsky Alexander Vyacheslavovich – e-mail: kozlovskiy@sfnu.ru; the department of computer engineering; graduate student.

УДК 004.8

DOI 10.18522/2311-3103-2022-5-97-105

Н.В. Драгныш

РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Использование генераторов случайных чисел находит широкое распространение. Программные генераторы как правило выдают псевдослучайные числа. Для улучшения характеристик, необходим источник "хаоса". В данной статье рассматривается реализация генератора случайных чисел, использующего идею перемешивания полного набора чисел в параллельном потоке. На работу процессора в таком режиме оказывают влияние множество случайных факторов, что позволяет выдавать случайные числа. У предложенного генератора каждое последующее число не зависит от предыдущего. Генератор может выдать любое число заданного диапазона, несмотря на то сколько и какие числа выпали ранее. В том числе может выпасть с малой вероятностью одно и то же число несколько раз подряд. Отсутствует заранее определенная последовательность выдачи случайных чисел. Период, свойственный программным генераторам псевдослучайных чисел, также отсутствует. Но при этом снижается быстродействие выдачи случайных чисел, в сравнении с программными генераторами псевдослучайных чисел. Целью исследования было оценить свойства предложенного генератора, в первую очередь статистические характеристики генерируемых чисел. В статье рассмотрены вопросы идеи параллельного перемешивания. Вопросы реализации на языке программирования. Представлен программный интерфейс класса MixRandomBase и особенности реализации класса MixRandomByte, использующего рабочий массив из байтов. Для проверки качества работы генераторов случайных и псевдослучайных чисел применяют различные тесты. Приведены результаты проверки работы генератора такими тестами как распределение на плоскости, тест равномерности, тест "стопка книг". Результаты тестирования позволяют судить о хороших статистических характеристиках разработанного генератора. Оценено быстродействие генератора. В сравнении с линейными конгруэнтными генераторами псевдослучайных чисел время выдачи последовательности чисел больше в сотни раз.

Генератор случайных чисел; перемешивание случайных чисел; параллельное программирование; тесты генераторов случайных чисел.

N.V. Dragnysh

IMPLEMENTATION AND STUDY OF THE RANDOM NUMBER GENERATOR BASED ON PARALLEL MIXING

The use of random number generators is widespread. Software generators usually produce pseudo-random numbers. To improve characteristics, it needs a source of "chaos". This article discusses the implementation of a random number generator that uses the idea of mixing a complete set of numbers in a parallel thread. The operation of the processor in this mode is influenced