

И.Б. Аббасов, Р.Р. Дешмух

РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, РАСТЕНИЙ И ЛЕСНЫХ МАССИВОВ

Представлен обзор некоторых исследований по проблеме распознавания изображений сельскохозяйственных культур, растений и лесных массивов. В этих системах распознавания изображений используются различные методы предварительной обработки, компьютерного зрения, глубокого обучения. В последнее время увеличиваются системы распознавания на основе мобильных устройств, что повышает их доступность и широкое распространение. Рассмотрены статьи по распознаванию, классификации плодов и фруктов в садах, создание банка данных этих аграрных продуктов (яблоки, груши, киви) для оценки созревания и урожайности. Описаны работы посвященные автоматизации сбора урожая зерновых культур на примере работы уборочного комбайна с применением машинного зрения. Растениеводство играет важную роль при обеспечении кормов для животноводства, анализированы статьи по распознаванию сельскохозяйственных растений на основе изображений листьев. Также по состоянию листьев картофельных кустов можно определить их болезни, оценить состояние почвы. Приведены работы по разработке мобильных систем контроля и распознавания процесса выращивания грибов на основе технологии «зеленый дом» для фермерских хозяйств. С помощью дистанционной диагностики можно анализировать и контролировать состояние поверхности суши и морей. Для дистанционного экологического мониторинга ландшафта земной поверхности описаны работы по распознаванию, классификации лесных массивов, водных ресурсов с применением гиперспектрального анализа спутниковых изображений.

Распознавание изображений; распознавание изображений фруктов, плодов, листьев, растений, грибов; глубокое обучение; компьютерное зрение; распознавание ландшафта; гиперспектральный анализ; дистанционный мониторинг

I.B. Abbasov, R.R. Deshmukh

IMAGE RECOGNITION OF AGRICULTURAL CROPS, PLANTS AND FORESTS

The paper provides an overview of some studies on the recognition of images of crops, plants and forests. These image recognition systems use various methods of pre-processing, computer vision, and deep learning. Recently recognition systems based on mobile devices are increasing, which increases their availability and wide distribution. The articles on recognition, classification of fruits and fruits in orchards, the creation of a data bank of these agricultural products (apples, pears, kiwi) to assess ripening and yield are considered. The works devoted to the automation of harvesting grain crops are described on the example of the work of a combine harvester using machine vision. Crop production plays an important role in providing feed for animal husbandry; articles on the recognition of agricultural plants based on leaf images are analyzed. Also, by the condition of the leaves of potato bushes, you can determine their disease, assess the condition of the soil. The work on the development of mobile systems for monitoring and recognition of the process of growing mushrooms based on the "green house" technology for farms is presented. Using remote diagnostics, you can analyze and monitor the state of the surface of land and seas. For remote environmental monitoring of the landscape of the earth's surface, work is described on the recognition, classification of forests, water resources using hyperspectral analysis of satellite images.

Image recognition; recognition of images of fruits, fruits, leaves, plants, mushrooms; deep learning; computer vision; landscape recognition; hyperspectral analysis; remote monitoring.

1. Введение. В повседневной жизни мы уже не обращаем внимание на внедрение систем слежения и распознавания в городской среде. Они в основном связаны с обеспечением безопасности как на дорогах, так и для общественного по-

рядка. Эти системы также активно используются в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в сельском хозяйстве для повышения экономической эффективности производства аграрной продукции. Мобильные системы компьютерного зрения могут оценить состояние урожая растениеводства, садоводства. Они используют методы распознавания изображений для классификации объектов и сцен, с применением глубокого обучения и компьютерного зрения. В данной работе представлен обзор и анализ некоторых современных исследований в области распознавания изображений сельскохозяйственных культур, растений и лесных массивов с целью оценки перспектив применения и будущего развития.

2. Распознавание изображений фруктов: яблоки, груши. Технология глубокого обучения успешно применяется в различных областях науки и производства начиная от компьютерного зрения до распознавания речи. В области обработки изображений глубокое обучение используется для анализа сцен и обнаружения объектов. Однако с увеличением плотности сцен задача анализа усложняется. Работа [1] посвящена анализу плотности сцен в сельском хозяйстве. Описываются различные популярные глубокие нейронные сети по анализу плотных сельскохозяйственных сцен [2].

В дальнейшем приводится эффективность данного способа при распознавании, обнаружении, классификации, подсчете и оценке урожайности. Отмечается, что область распознавания сельскохозяйственных сцен с применением глубокого машинного обучения находится ещё в начальном этапе, так как необходима расширенная база данных по классификации различных сельскохозяйственных продуктов [3]. В работе [4] представлены данные по распознаванию плодов яблок и груш на основе анализа более ста фотографий фруктовых деревьев (рис. 1).

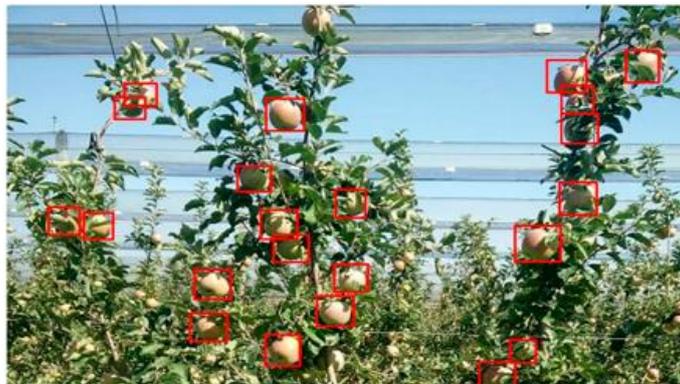


Рис. 1. Анализ сцены в сельском хозяйстве при распознавании изображений фруктов в саду [1, 4]

3. Распознавание плодов киви. Распознавание сельскохозяйственных продуктов является непростой задачей, особенно мало публикаций посвященных распознаванию плодов киви [5, 6]. Киви относится к плодовым культурам растений рода актинидия (лат. *actinidia chinensis*), имеющих вид древовидной лианы родом из Китая, из-за питательности широко культивируется в всем мире. В работе [7] используются цветовые модели для базовой обработки изображения с расширением частотной области. После фильтрации изображения, определяются характеристики ствола, также используется бинокулярная система стереозрения для распознавания плодов, что повышает определение местоположения объектов (рис. 2). Экспериментальные исследования показывают хорошие результаты работы предложенного алгоритма.



Рис. 2. Оригинальная фотография плода киви, обработка с распознаванием краев, результат распознавания изображения [7]

4. Автоматизация сбора урожая кукурузы на основе компьютерного зрения и распознавания растений. В последнее время все больше автоматизируется труд в сельскохозяйственной отрасли. Из-за расширения площадей посадки кукурузы в различных аграрных областях мира возникает ситуация по приспособлению кукурузоуборочного комбайна к конкретным условиям сбора урожая. Кукуруза относится яровым зерновым, при выращивании в разных климатических условиях расстояние между рядами кукурузы меняется [8].

В статье [9] исследуется метод обработки изображений и математического расчета параметров кукурузных рядов с помощью цифровой камеры слежения (рис. 3). Процесс распознавания основан на поэтапной обработке изображения с применением математических методов для определения расстояния между рядами. Далее проводится калибровка режущего стола самого кукурузоуборочного комбайна. Технологические инновации позволяют автоматизировать процесс уборки урожая и повышать эффективность сбора аграрной продукции.

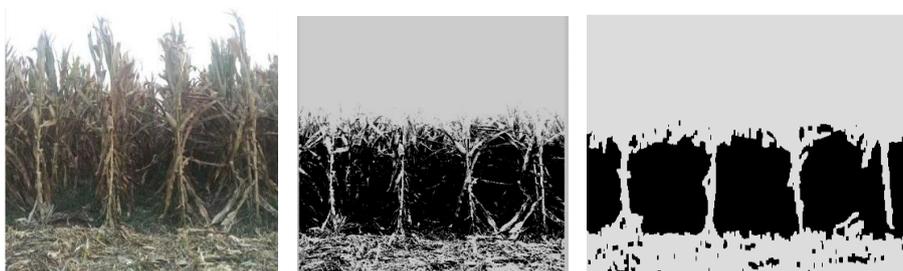


Рис. 3. Этапы последовательной обработки изображений [9]

5. Распознавание и контроль состояния растений на основе листьев. Недревесные растения, сельскохозяйственные травы обеспечивают домашние и фермерские хозяйства важнейшими кормами для животноводства. Для эффективного роста необходим контроль состояния растений и их популяции [10]. Использование ручного метода определения в современных условиях не отвечает требованиям времени, поэтому используются различные способы распознавания и идентификации растений на основе анализа характеристик листьев. Работа [11] посвящена разработке мобильных систем для распознавания и идентификации видов растений (рис. 4). В работе изучаются возможности различных мобильных систем распознавания листьев растений с помощью смартфонов.

В работе [13] рассматриваются различные нейронные сети для распознавания цветов и листьев растений [14, 15]:

- ◆ искусственная нейронная сеть (artificial neural network);
- ◆ вероятностная нейронная сеть (probabilistic neural network);
- ◆ сверточная нейронная сеть (convolutional neural network);

- ◆ по методу k-ближайшего соседа (k-nearest neighbor);
- ◆ поддержка по опорным векторам (support vector machine), и комбинированные методы.

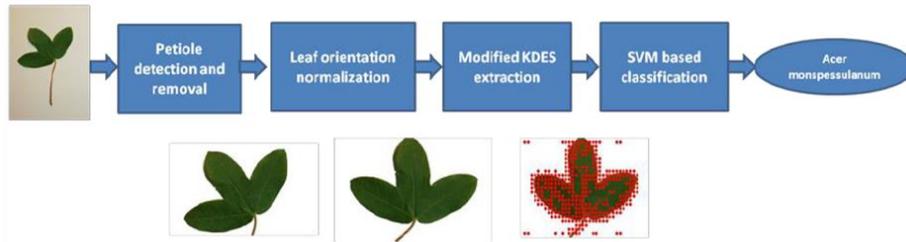


Рис. 4. Методология применения идентификации растений на основе листьев [11, 12]

Использование различных методов при предварительной обработке улучшает процесс классификации листа растения (рис. 5). Качество исходных изображений листьев играет важную роль при их дальнейшем распознавании.

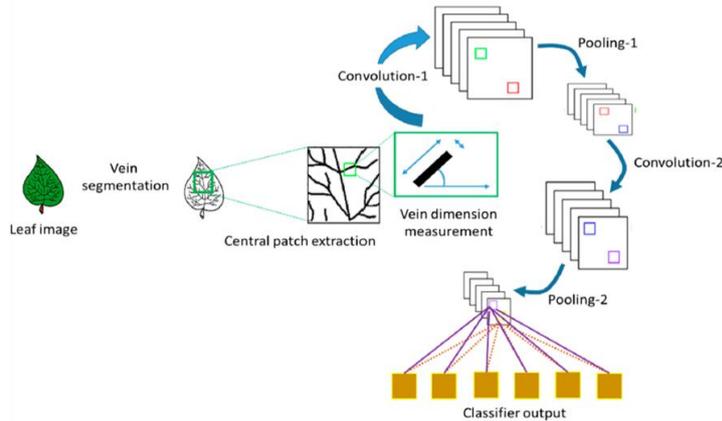


Рис. 5. Распознавание паттернов листьев с помощью сверточной нейронной сети [13]

Работа [16] посвящена анализу болезни листьев растения томата с помощью спектрометра ASD FieldSpec4. На индийскую экономику большое влияние оказывает сельское хозяйство, и согласно данным 30–35 % урожая теряется из-за болезней растений. С помощью гиперспектрального дистанционного зондирования предлагается контролировать состояние растений, выявлять болезни, которые отображаются в рамках узкого диапазона волн. Разработанная технология базируется на определенных признаках, атрибутах болезней растений, которые обнаруживаются в спектре отраженного сигнала. В работе [17] исследуются вопросы дистанционной оценки спектральной отражательной способности сельскохозяйственной почвы. Так как почва играет важную роль при производстве и контроле состояния аграрных культур. Своевременная дистанционная диагностика является более эффективным по сравнению с химическим анализом.

6. Система для контроля процесса выращивания грибов. В настоящее время грибы являются экономически выгодным сельскохозяйственным продуктом с высокой пищевой ценностью. Они являются живыми организмами, сочетающими в себе свойства растений и животных. Грибы играют важную роль в жизни

биосферы нашей планеты, перерабатывая органические материалы, тем самым повышают плодородность почвы. Из-за глобального изменения климата технологические теплицы начинают заменять традиционные способы выращивания грибов. Однако, эти теплицы имеют сложную структуру управления [18]. В статье [19] представлена разработка системы контроля роста и подсчета количества грибов на основе интеллектуальной сверточной нейронной сети. Предложенная система записывает данные о грибах и передает их на мобильный телефон фермера (рис.6), что повышает оперативность, эффективность управления производством.

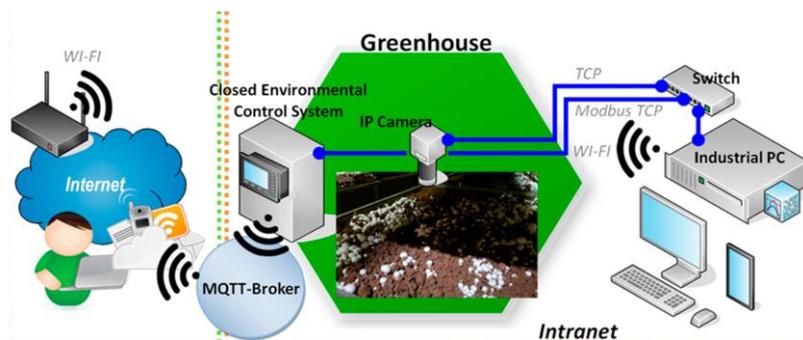


Рис. 6. Структура коммуникации для контроля состояния грибов [19]

7. Распознавание ландшафта по спутниковым изображениям. В статье [20] сравниваются спутниковые снимки 1985 и 1996 годов (рис. 7), которые используются для визуальной интерпретации устья бразильской реки Рио-Парайба [21]. В результате сравнения были выявлены следующие отличия: изменение русла реки Парайба на расстоянии нескольких километров, изменение береговой линии в результате океанского течения, вызванного юго-восточными пассатами, постоянство границ между полями сахарного тростника, пастбищами и остатками оригинальных прибрежных лесов, а также рост территории городских застроенных районов.

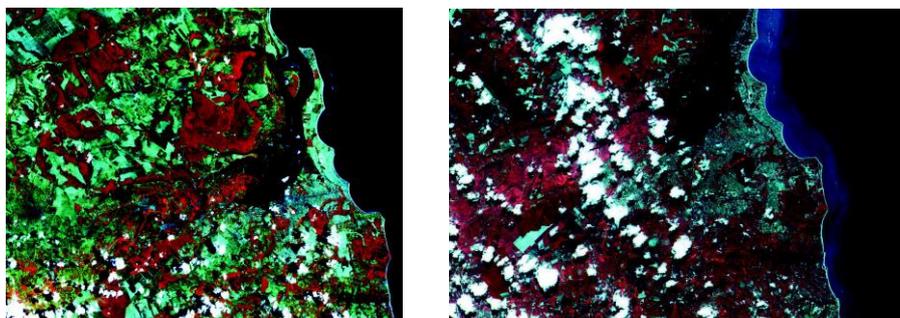


Рис. 7. Спутниковые снимки устья реки Рио-Парайба в 1985 и 1998 годах [20]

Генетический алгоритм предназначен для поиска оптимального решения путем исключения худшего варианта из генных последовательностей с использованием функции эффективности [22]. Этот алгоритм хорошо работает при классификации изображений без деталей. В статье [23] предлагается новый гибридный алгоритм повышения точности и надежности классификации спутниковых изображений. На примере изображения водохранилища демонстрируется эффективность предложенного метода по распознаванию объектов землепользования (рис. 8).

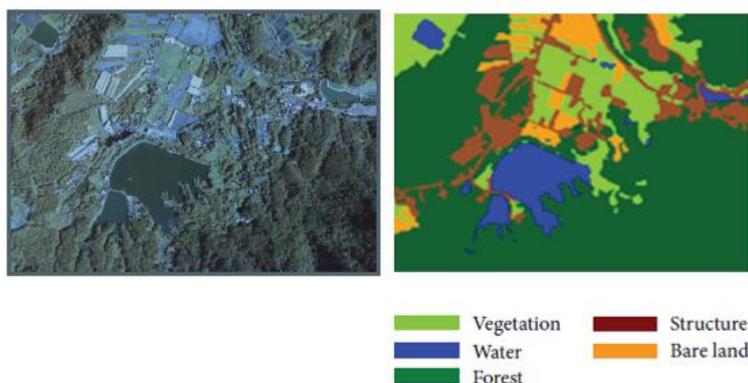


Рис. 8. Аэрофотоснимок местности и результат анализа изображения [23]

Для картирования земной поверхности и оценки экологического состояния часто используется дистанционное зондирование с помощью спутников. С каждым годом качество спутниковых снимков повышается, увеличивается разрешение этих изображений [24]. Более эффективным становится распознавание, классификация и обнаружение объектов на основе метода глубокого обучения. В статье [25] представлен подробный обзор по классификации ландшафта поверхности земли для обнаружения объектов на базе изображений с высоким разрешением. Методы на основе глубокого обучения обеспечивают комплексное решение, используя пространственную и спектральную информацию (рис. 9). Особенно для различной растительности этот метод является более производительным и точным по сравнению с традиционным методом на основе пикселей.

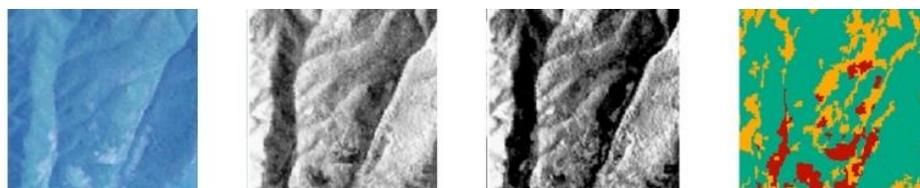


Рис. 9. Ландшафт земной поверхности в различных вариантах для обучения модели: режимы видимый диапазон, красные кромки, ближний инфракрасный и в метках земного покрова [25]

В статье [26] предлагается эффективный метод классификации изображений при мониторинге с использованием беспилотного летательного аппарата. В качестве изображений используются аэрофотоснимки различных ландшафтов с содержанием леса, лугов, рек и зданий. Используется информация по цветовым каналам текстур, содержащих статические и фрактальные характеристики. Обучающая система учитывает различные параметры объектов для классификации текстур поверхности.

Статья [27] посвящена обзору методов дистанционной диагностики поверхности земли, особенно водной части – поверхности океана. На основе дистанционного анализа можно определить состояние водной среды, выявить физические параметры, оценить температуру, на основе цвета определить питательность водных масс, содержание биоресурсов.

8. Распознавание лесных массивов в гиперспектральных изображениях.

Работы [28–31] посвящены алгоритмам распознавания объектов лесного покрова на гиперспектральных аэрокосмических изображениях. При обработке гиперспектральных изображений распознавание природно-техногенных объектов осуществляется по их спектральным и текстурным признакам. Приведены примеры сравнения этих классификаторов, метрического классификатора и классификатора на основе метода «к-взвешенных соседей».

На рис. 10, внизу представлен результат распознавания исходного гиперспектрального изображения разработанным методом, где синий цвет – вода, желтый – песок, черный – дорожное покрытие, темно-зеленый – сосновые древостои, светло-зеленый – березовые древостои, оранжевый – осиновые древостои, красный – травянистая растительность, фиолетовый – прочие объекты.

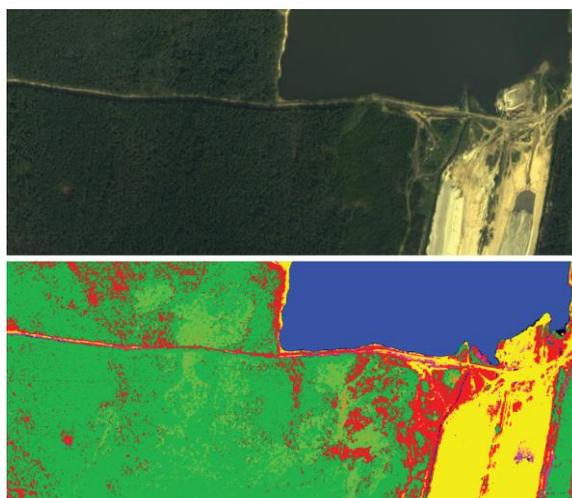


Рис. 10. Исходное гиперспектральное изображение и результат распознавания объектов на нем с помощью метода «к-взвешенных соседей» [28]

Работа [32] посвящена анализу состояния городских лесных зон с целью контроля экосистемы методом дистанционного зондирования [33]. Дистанционное зондирование используется на основе трех способов: разные по источникам, разные по времени, и разные по масштабу. Результаты комбинированных оптических изображений и данных лидаров (LiDAR) являются наиболее перспективными (рис. 11). Методы по удалению тумана позволят повысить качество спутниковых снимков.

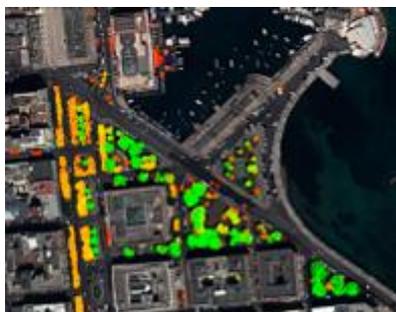


Рис. 11. Примеры совмещенных спутниковых снимков и данных облака точек LiDAR на районном уровне города [32]

Для мониторинга окружающей среды эффективно использовать системы гиперспектральной визуализации [34, 35]. В статье [36] разрабатывается мобильная система гиперспектральных датчиков наземного применения. Эти устройства становятся все более компактными и мобильными, что повышает их ценность при автономном мониторинге (рис. 12). Они облегчают доступ к технологиям гиперспектрального мониторинга, значительно ускоряя процесс получения данных.

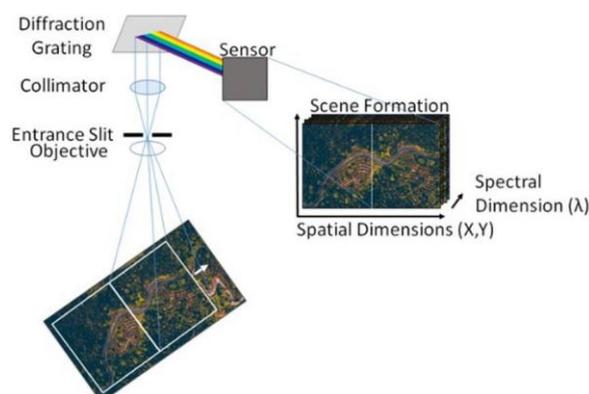


Рис. 12. Схема датчика кадрирования при дистанционном зондировании [36]

9. Анализ исследований. Достаточно часто в задачах распознавания используется метод глубокого обучения, на примере классификации фруктов, объектов ландшафта на спутниковых изображениях. Этот метод становится малоэффективным при повышении плотности классифицируемых объектов, требуется увеличение базы данных для обучения.

Для многих случаев классификации более эффективным становится комбинирование методов предварительной обработки и дальнейшего распознавания на основе нейронных сетей. Для гиперспектральных изображений предварительно проводится классификация по спектральным и текстурным признакам, дальнейшая классификация осуществляется методом «к-взвешенных соседей». В случае дистанционной диагностики состояния растений томата определяется частотный диапазон, характеризующий болезни листьев растения.

Для задач распознавания плодов киви проводится предварительная обработка с использованием цветковых моделей при определении характеристик стволов, в дальнейшем применяется бинокулярная система машинного стереозрения для распознавания плодов киви.

При работе кукурузоуборочного комбайна предварительно осуществляется определение расстояния между рядами на основе данных от цифровой камеры слежения.

Для распознавания цветов и листьев растений в разработанном мобильном приложении используется предварительная обработка и дальнейшее распознавание с помощью нейронных сетей. Мобильное приложение на базе смартфонов по контролю за выращиванием грибов использует интеллектуальную сверточную нейронную сеть.

Поэтому можно отметить, что сегодня нейронные сети являются наиболее перспективным направлением при распознавании образов и компьютерном зрении для решения различного рода задач.

Заключение. В данной работе были рассмотрены некоторые статьи, посвященные вопросам распознавания изображений в аграрной отрасли и мониторинга лесных массивов. Были описаны статьи по разработке методов распознавания сельскохозяйственных сцен с фруктами, плодами и растениями. Отмечены современные системы распознавания на базе мобильных устройств. Также были описаны дистанционные методы мониторинга ландшафта с лесным покровом и водоемами на основе гиперспектрального анализа. В результате анализа и перспектив развития систем распознавания, можно отметить, что они все часто приспособляются к потребностям индивидуальных пользователей, фермеров. Процесс распознавания аграрной продукции происходит в реальном режиме с использованием приложений для мобильных устройств. Появление таких программных разработок позволит увеличить эффективность производства сельскохозяйственной продукции, ускорить процесс управления и внедрения мобильных технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zhang Q., Liu Y., Gong C., Chen Y., Yu H. Applications of Deep Learning for Dense Scenes Analysis in Agriculture: A Review, *Sensors*, 2020, Vol. 20, 1520. 33 p. DOI: 10.3390/s20051520.
2. Bechar A., Vigneault C. Agricultural robots for field operations: concepts and components, *Biosyst. Eng.*, 2016, Vol. 149, pp. 94-111. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014.
3. Kelman E.E., Linker R. Vision-based localisation of mature apples in tree images using convexity, *Biosyst. Eng.*, 2014, Vol. 118, pp. 174-185. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2013.11.007.
4. Bresilla K., Perulli G.D., Boini A., Morandi B., Corelli Grappadelli L., Manfredi L. Single-Shot Convolution Neural Networks for Real-Time Fruit Detection Within the Tree//Front, *Plant Sci.*, 2019, No. 10, pp. 611. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00611>.
5. Yongjie C. Recognition and feature extraction of kiwifruit in natural environment based on machine vision, *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* 2013, Vol. 44 (5), pp. 247-252.
6. Fu L., Feng Y., Elkamil T. et al. Image recognition method of multi-cluster kiwifruit in field based on convolutional neural networks, *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.*, 2018, No. 34 (2), pp. 205-211.
7. Liu D., Shen J., Yang H. et al. Recognition and localization of actinidia arguta based on image recognition, *J Image Video Proc.*, 2019, No. 21 (2019). Available at: <https://doi.org/10.1186/s13640-019-0419-6>.
8. Shimmers K.J., Boettcher G.C., Holfman D.S., et al. Single-pass harvest of corn grain and stover: performance of three harvester configurations[J].*Transactions of the ASABE*, 2009, Vol. 52 (1), pp. 51-60.
9. Song Xiangwen, Cao Shukun, Wang Chong, Xu Xiangqian, Han Tao and Guo Hejia. Automatic 9 Row Corn Harvester Based on Labview Image Recognition IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1098 (2018) 012016. DOI: 10.1088/1742-6596/1098/1/012016.
10. Sun Y., Liu Y., Wan, G., Zhang H. Deep Learning for Plant Identification in Natural Environment, *Computational Intelligence and Neuroscience*, Vol. 2017, Article ID 7361042, 6 p. Available at: <https://doi.org/10.1155/2017/7361042>.
11. Shaikh N.A., Mallah G.A., Karas, I.R., Akay A.E. Using mobile image recognition system for nonwood species identification in the field, *Journal of Innovative Science and Engineering*, 2018. No. 2 (2), pp. 40-50. DOI: 10.38088/jise.498910.
12. Le T., Tran D., Hoang V. Fully automatic leaf-based plant identification, application for Vietnamese medicinal plant search. SoICT '14, December 04–05, 2014, Hanoi, Vietnam. Available at: <https://doi.org/10.1145/2676585.2676592>.
13. Azlah M.A.F., Chua L.S., Rahmad F.R., Abdullah F.I., Wan Alwi S.R. Review on Techniques for Plant Leaf Classification and Recognition, *Computers*, 2019, No. 8, 77, 22 p.
14. Sabu A., Sreekumar K. Literature review of image features and classifiers used in leaf based plant recognition through image analysis approach, *In Proceedings of the 2017 International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), Coimbatore, India, 10–11 March 2017*, pp. 145-149.

15. Munisami T., Ramsurn M., Kishnah S., Pudaruth S. Plant Leaf Recognition Using Shape Features and Colour Histogram with K-nearest Neighbour Classifiers, *Procedia Comput. Sci.*, 2015, Vol. 58, pp. 740-747.
16. Sapate N.M., Deshmukh R.R. Spectral and Numerical Analysis of Hyper spectral Data using Vegetation Indices, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, August 2019, Vol. 8, Issue-6. DOI: 10.35940/ijeat.F8578.088619.
17. Gaikwad C.M., Kakarwal S.N., Ghule A.N., Deshmukh R.R., Kurmude D.V. Use of spectral reflectance for sensitive waveband determination for soil organic matter, *International Journal of Scientific and Technology Research*, 2019, No. 8 (10), pp. 1071-1075.
18. Wu W.-H., Zhou L., Chen J., Qiu Z., He Y., GainT. A measurement system of thousand kernel weight based on the android platform, *Agronomy*, 2018, No. 8, pp. 178.
19. Lu C.-P., Liaw J.-J., Wu T.-C., Hung T.-F. Development of a Mushroom Growth Measurement System Applying Deep Learning for Image Recognition, *Agronomy*, 2019, No. 9, 32, 21 p. DOI: 10.3390/agronomy9010032.
20. Ulbricht K.A., Heckendorff W.D. Satellite images for recognition of landscape and landuse changes, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1998, Vol. 53, Issue 4, pp. 235-243, [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(98\)00006-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(98)00006-9)
21. Teotia H.S., Ulbricht K.A., Civco D.L. The integration of remote sensing and GIS technologies for land development and irrigation potential in the state of Ceara, Brazil. In: Proceedings of the XVII ISPRS Congress, Washington D.C. Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing. 1992. 29 (B7), pp. 466-472.
22. Bazi Y., Melgani F., Bruzzone L., Vernazza G. A genetic expectation-maximization method for unsupervised change detection inmultitemporal SAR imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 2009, Vol. 30, No. 24, pp. 6591-6610.
23. Yang Ming-Der, Yeh-Fen Yang, Tung-Ching Su, and Kai-Siang Huang. Hindawi Publishing Corporation, *The Scientific World Journal*, Vol. 2014, Article ID 264512, 12 p. Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/264512>.
24. Huang B., Zhao B., Song Y. Urban land-use mapping using a deep convolutional neural network with high spatial resolution multispectral remote sensing imagery, *Remote Sens. Environ.*, 2018, Vol. 214, pp. 73-86.
25. Zhang X., Han L., Han L., Zhu L. How Well Do Deep Learning-Based Methods for Land Cover Classification and Object Detection Perform on High Resolution Remote Sensing Imagery? *Remote Sens.*, 2020, No. 12, 417, 29 p. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs12030417>.
26. Popescu D., Ichim L. Image Recognition in UAV Application Based on Texture Analysis. In: Battiato S., Blanc-Talon J., Gallo G., Philips W., Popescu D., Scheunders P. (eds) Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems. ACIVS 2015. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9386. Springer, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-25903-1_60.
27. Abbasov I.B., Deshmukh R.R. Methods of remote diagnostic of water surface, In the Proceeding: "Computer and information technologies in science, engineering and management "ComTech-2019": Materials of the Russian scientific and technical conference with international participation, 2019, pp. 477-481. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41333265>.
28. Kozoderov V.V., Kondranin T.V., Dmitriev E.V. Comparative analysis of recognition algorithms for forest cover objects on hyperspectral aerospace images, *Earth exploration from space*, 2016, No. 6, pp. 45-55. DOI: 10.7868/S020596141606004X.
29. Kozoderov V.V., Dmitriev E.V. Patterns of recognition and assessment of the state of forest vegetation from hyperspectral data of remote sensing, *Research of the Earth from Space*, 2017, No. 6, pp. 75-88. DOI: 10.7868/S0205961417060070.
30. Kozoderov, V.V., Kondranin T.V., Dmitriev E.V. Hyperspectral remote sensing imagery processing focused on forest applications, *International Review of Aerospace Engineering*, October 2017, Vol. 10, Issue 5, pp. 267-276.
31. Kozoderov V.V., Egorov V.D. Recognition of types of forest vegetation by hyperspectral aircraft and multi-channel satellite data of high spatial resolution. Comparison of results and assessment of their accuracy, *Research of the Earth from Space*, 2019, No. 6, pp. 89-102 <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019689-102>
32. Li X., Chen W.Y., Sanesi G., Laforteza R. Remote Sensing in Urban Forestry: Recent Applications and Future Directions, *Remote Sens.*, 2019, No. 11 (10), 1144; 20 p. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs11101144>.

33. Roman L.A., Pearsall H., Eisenman T.S., Conway T.M., Fahey R.T., Landry S., Vogt J., van Doorn N.S., Grove J.M., Locke D.H., et al. Human and biophysical legacies shape contemporary urban forests: A literature synthesis, *Urban For. Urban Green*, 2018, Vol. 31, pp. 157-168.
34. Govender M., Chetty K., Bulcock H. A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies, *Water SA*, 2017, Vol. 33, pp. 145-152.
35. Khan M.J., Khan H.S., Yousaf A., Khurshid K., Abbas A. Modern trends in hyperspectral image analysis: A review, *IEEE Access*, 2018, No. 6, pp. 14118014129.
36. Stuart M.B., McGonigle A.J.S., Willmott J.R. Hyperspectral Imaging in Environmental Monitoring: A Review of Recent Developments and Technological Advances in Compact Field Deployable Systems, *Sensors*, 2019, No. 19, 3071, 17 p. DOI: 10.3390/s19143071.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.И. Бутенко.

Аббасов Ифтихар Балакишиевич – Южный федеральный университет; e-mail: iftikhar_abbasov@mail.ru; г. Таганрог, ул. Чехова, 22Б; тел.: +79185115574; кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна; профессор.

Дешмух Ратнадип Р. – Университет Маратвады им. доктора Бабасахеб Амбедкара; e-mail: rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in; Аурангабад, Индия; тел.: 9423147466; кафедра компьютерных наук и информационных технологий; профессор.

Abbasov Iftikhar Balakishievich – Southern Federal University; e-mail: iftikhar_abbasov@mail.ru; phone: +79185115574; the department of engineering graphics and computer design; professor.

Deshmukh Ratnadeep R. – Dr. Babasaheb Ambedkar Marathwada University; e-mail: rrdeshmukh.csit@bamu.ac.in; Aurangabad, India; phone: 9423147466; the department. of computer science and IT; professor.