



DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-12

УДК: 634.3

КЛАССИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ЦИТРУСОВЫХ НА ОСНОВЕ РАЗМЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

¹Ульзии-Орших Дордж, ²Уранбайгаль Деиджибал, ¹Хунсеок Чае,
²Лхагвадорж Бацамбуу, ²Алтанхимег Бадарч, ²Шинебайар Далхаа

¹Национальный университет Чонбук
Деокджин-Донг, Южная Корея

²Монгольский университет наук о живой природе
Улан-Баатар, Монголия

Для цитирования: Ульзии-Орших Дордж, Уранбайгаль Деиджибал, Хунсеок Чае, Лхагвадорж Бацамбуу, Алтанхимег Бадарч, Шинебайар Далхаа. Классификация качества цитрусовых на основе размера с использованием обработки цифровых изображений // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 5. С. 95–101. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-12

For citation: Ulzii-Orshikh Dorj, Uranbaigal Dejidal, Hongseok Chae, Lkhagvadorj Batsambu, Altanchimeg Badarch, Shinebayar Dalkhaa. Klassifikatsia kachestva tsitrusovykh na osnove razmera s ispolzovaniem obrabotki tsifrovyykh izobrazheniy [Citrus fruit quality classification based on size using digital image processing]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 5, pp. 95–101. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-5-12

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлена разработка нового алгоритма компьютерной визуализации для классификации качества цитрусовых культур, основанного на размерах плодов одного дерева. Параметры изображения: площадь, периметр и диаметр цитрусовых – измерены в пикселях. Определены отношения значений диаметра, периметра и площади в пикселях к фактическому размеру плода для того, чтобы точно оценить размер плодов цитрусовых. Проведена группировка 1860 плодов цитрусовых на основе размера диаметра, периметра и площади в пикселях. Результаты группировки сопоставлены с результатами обзорных исследований по размеру плодов цитрусовых, которые проводились Комиссией Чеджу. Сравнительные результаты показывают, что диаметр изображений плодов в пикселях имеет более точный размер, чем значения в пикселях периметра и площади.

Ключевые слова: классификация качества продукции, цитрусовые культуры, размер плода, диаметр, периметр, площадь

CITRUS FRUIT QUALITY CLASSIFICATION BASED ON SIZE USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

¹Ulzii-Orshikh Dorj, ²Uranbaigal Dejidal,
¹Hongseok Chae, ²Lkhagvadorj Batsambu,
²Altanchimeg Badarch, ²Shinebayar Dalkhaa

¹Chon Buk National University,
Deokjin-Dong, South Korea,

²Mongolian University of Life Sciences,
Ulaanbaatar, Mongolia

A new computer vision algorithm for citrus fruit quality classification based on the size of a single tree fruits was developed in this study. The image properties of area, perimeter, and diameter for the citrus fruits were measured by pixels. In order to estimate citrus fruit size in a realistic manner, the ratios of diameter, perimeter and area in pixel values in relation to the actual size of one fruit were determined. The total of 1860 citrus fruits were grouped based on diameter, perimeter, and area in pixels. The results of the grouping of citrus fruits by diameter, perimeter and area were compared with the results of the survey research into citrus fruit size as conducted by the Jeju Citrus Commission. Comparative results reveal that the image of the citrus fruit diameter in pixels demonstrate a more accurate size than the other two pixel values, i.e. perimeter and area.

Keywords: classification of fruit quality, citrus fruit, size, diameter, perimeter, area

ВВЕДЕНИЕ

Контроль качества и классификация сельскохозяйственных продуктов – важные компоненты сельскохозяйственного производства и маркетинга. В настоящее время системы внешнего контроля и классификации качества сельскохозяйственной продукции учитывают ряд параметров, включая размер, форму, цвет, объем, площадь, периметр, выпуклость, энергию, округлость или внешние дефекты. Большое количество таких систем разработано для зерновых культур, фруктов и овощей, яблок, маслин, персиков и цитрусовых [1–11].

За последние годы увеличилось использование машинной визуализации для контроля качества фруктов и овощей. Несколько производителей в мире производят сортировочные машины, способные предварительно сортировать фрукты по размеру, цвету и массе. В настоящее время на острове Чеджу (Южная Корея) определение качества цитрусовых и мониторинг урожая осуществляют с помощью обычного зрения. Комиссия Чеджу по цитрусовым культурам и специальные сельскохозяйственные научно-исследовательские службы, а также службы по распространению опыта самоуправляемой провинции Чеджу проводят исследования для оценки ожидаемого размера цитрусовых каждый год в течение августа и ноября. Для обследования выбирают одно или два дерева из каждого места, где выращивают цитрусовые. С одного дерева снимают все плоды, измеряют их вертикальный и горизонтальный диаметр (иногда только горизонтальный). Размеры плодов другого дерева измеряют на ветвях.

Основными недостатками ручного обследования являются большое число работников, высокая трудоемкость, значительные затраты времени и финансов.

Цель статьи – разработать новый алгоритм компьютерной визуализации для классификации качества цитрусовых культур на основе размера плодов одного дерева.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Подробное схематическое представление предлагаемого метода предложено в виде блок-схемы (см. рис. 1).

Получение и предварительная обработка изображений. Для разработки и тестирования предложенного алгоритма распознавания и подсчета цитрусовых культур в ноябре с помощью камеры сделаны снимки на цитрусовых плантациях Гваннионг 1-ри, Эвол-эуп на острове Чеджу. Снимки осуществлены в режиме автофокусировки с четырех сторон каждого дерева в стационарном режиме при естественном дневном освещении, частично – в условиях облачной освещенности. До проведения этапа обработки изображения плоды цитрусовых выбирали следующим образом: изображение одного дерева разделили по горизонтали на три части; шесть плодов выбрали из верхней и нижней частей дерева, восемь плодов – из средней части.

Обработка изображений. Операцию обработки изображений выполняли с использованием 84 изображений от 21 дерева. Изображения были преобразованы из цветового пространства RGB в HSV: $\text{hsvImage} = \text{rgb2hsv}(\text{originalImage})$. Затем извлечены цветовые компоненты HSV. Пиксели плодов цитрусовых выбраны из цветовой гистограммы пикселей пространства HSV. Следующее условие использовалось для того, чтобы на компоненте H оказались только изображения плодов цитрусовых в пикселях: $(\text{hPlane} > 60) \& (\text{hPlane} < 260)$. Было создано двоичное изображение. После этого шум, который меньше 1000, удалили из изображения. Чтобы показать полный цитрусовый плод, заполнили дырки. Обнаруженные границы плодов были довольно грубыми. Чтобы уменьшить грубость этих границ, полученное изображение сглажено. Для определения размера цитрусовых плодов измеренные свойства определяли по областям изображения.

$\text{STATS} = \text{REGIONPROPS}(\text{BW}, \text{PROPERTIES})$ измеряет набор свойств для каждого связанного объекта в двоичном изображении.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма классификации качества цитрусовых на основе размера
Fig. 1. Control flow chart for classification of citrus fruit quality based on size

ражении. В данном исследовании площадь поверхности, периметр и диаметр входного изображения измеряли в пикселях.

Классификация качества по размеру. Согласно классификационным схемам Комиссии Чеджу по цитрусовым, плоды необходимо распределять по размеру в 11 групп. Для классификации качества использовали результаты, полученные на этапе обработки 1680 изображений плодов цитрусовых, полученных от 21 дерева. По размеру плоды разбили на 11 групп. Перед классификацией качества отношения диаметра, периметра и площади к реальному размеру плодов определяли следующим образом.

1. Выбрали девять плодов цитрусовых от одного дерева сада: по три плода из верхней, средней и нижней частей.

2. Сделали соответствующие снимки дерева.

3. Определили значения в пикселях диаметра, периметра и площади изображения девяти плодов.

4. Измерили фактический размер выбранных девяти плодов.

5. Определили, сколько пикселей помещается на 1 мм диаметра, периметра и площади для каждого выбранного плода соответственно.

6. Вычислили среднее значение по результатам, полученным на этапе 5.

7. Результаты исследований классификации качества по размеру затем сравнили с результатами обзора, полученными Комиссией Чеджу по цитрусовым.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для классификации качества цитрусовых разработан новый алгоритм компьютерной визуализации, основанный на размере пло-

дов одного дерева. Операцию обработки изображений проводили с использованием 84 изображений от 21 дерева (см. рис. 2). Исходное изображение цитрусового дерева в формате RGB показано на рис. 2, *а*. Чтобы выбрать плоды из изображения на входе, отдельное дерево было разделено по горизонтали на три части. Затем из верхней и нижней частей выбрали по шесть плодов, из средней – восемь. Изображение выбранных плодов цитрусовых представлено на рис. 2, *б*. Чтобы распознать плоды цитрусовых, изображения преобразовали из цветового пространства RGB в HSV, а затем цветовые компоненты HSV извлекали из изображения. Пиксели цитрусовых выбрали из цветовой гистограммы пространства HSV. Цветовая гистограмма пикселей показана на рис. 2, *в*. Исходное изображение содержит в основном оранжевые, желтые, зеленые, синие, голубые, пурпурные цветовые пиксели (с небольшим количеством красных). В этом исследовании не использовали диапазон от 60 до 260 град. На рис. 2, *г* проиллюстрировано двоичное изображение распознанных плодов цитрусовых. Результаты распознанных плодов цитрусовых представлены на рис. 2, *д*.

Площадь, периметр и диаметр изображения плодов на входе измеряли в пикселях. Значения пикселей площади, периметра и диаметра двух изображений образца приведены в табл. 1.

Табл. 1. Измеренные значения в пикселях площади, периметра и диаметра для двух образцов изображений

Table 1. Values of area, perimeter and diameter for two image samples measured in pixels

Номер шара	ST01_1.jpg			ST01_2.jpg		
	Пло- щадь	Пери- метр	Диам- метр	Пло- щадь	Пери- метр	Диам- метр
1	4038	238	72	5592	283	84
2	5191	323	81	6381	347	90
3	4129	241	73	6900	319	94
4	3490	227	67	5279	273	82
5	4251	244	74	5005	272	80
6	4255	247	74	6269	296	89
7	4201	246	73	5092	269	81
8	5130	268	81	5301	282	82
9	8196	393	102	4005	239	71
10	3889	230	70	5733	283	85

Классификацию качества, основанную на размере плодов цитрусовых, осуществляли с использованием данных 1680 плодов, разделенных на 11 групп. Перед классификацией определяли отношение величины диаметра в пикселях к фактическому размеру плода (см. рис. 3). Оригинальное изображение в формате RGB дерева с выбранными плодами представлено на рис. 3, *а*, изображение выбранных плодов в формате RGB – на рис. 3, *б*, двоичное изображение – на рис. 3, *в*, результат для измеренного диаметра – на рис. 3, *г*.

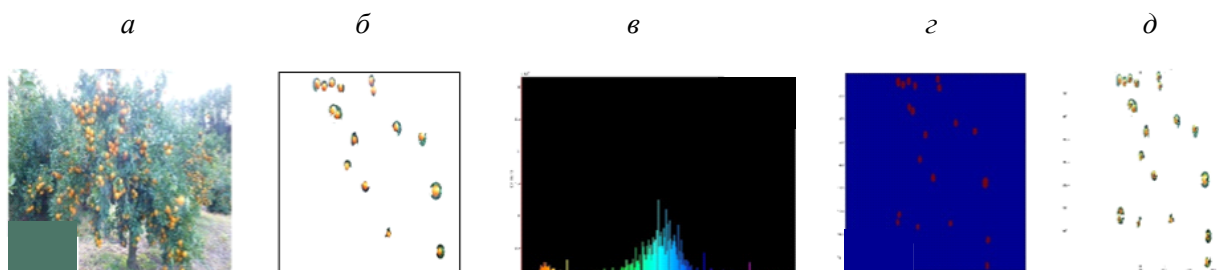


Рис. 2. Обработка изображений плодов:

а – оригинальное изображение цитрусового дерева в формате RGB; *б* – выбранные плоды цитрусовых; *в* – цветовая гистограмма пикселей; *г* – двоичное изображение распознанных плодов цитрусовых; *д* – результат изображения распознанных плодов цитрусовых

Fig. 2. Fruit image processing:

a – original image of a citrus tree in the RGB format; *б* – selected citrus fruits; *в* – coloured pixel histogram; *г* – binary image of identified citrus fruits; *д* – image result of identified citrus fruits



Рис. 3. Классификация качества плодов цитрусовых, основанная на их размере:

a – оригинальное изображение цитрусового дерева с выбранными плодами в формате RGB;
б – RGB-изображение выбранного плода в формате RGB; *в* – двоичное изображение выбранных плодов;
г – результат измеренного диаметра, периметра и площади выбранных плодов

Fig. 3. Classification of citrus fruit quality based on their size:

a – original image of a citrus tree with selected fruits in the RGB format; *б* – RGB image of the selected citrus fruit in the RGB format; *в* – binary image of selected citrus fruits; *г* – result of the measured diameter, perimeter and area of selected citrus fruits

Для того чтобы реально оценить размер цитрусовых плодов, определены отношения диаметра, периметра и значений площади в пикселях к реальному размеру (см. табл. 2). В 1 мм содержатся 1,25 пикселя. Кроме того, отношение периметра и площади в пикселях к фактическому размеру плодов определены как 1 мм = 4,15 пикселя по периметру = 72 пикселя по площади. Эти значения впоследствии использовали для определения классификации качества по размеру.

По правилу, указанному в табл. 3, 1860 плодов цитрусовых сгруппировали по диаметру, периметру и площади. Результа-

ты группировки сопоставили с результатами обзорных исследований по размеру цитрусовых, которые проводились Комиссией Чеджу по цитрусовым. Сравнение этих результатов показывает, что диаметр изображений плодов в пикселях соответствует истинному размеру цитрусовых плодов более точно, чем значения в пикселях периметра и площади.

Табл. 3. Группировка результатов
Table 3. Grouping the results

Группа	По диаметру (1 мм = 1,25 пикселей)		По периметру (1 мм = 4,15 пикселей)		По площади (1 мм = 72 пикселя)	
	Число плодов	%	Число плодов	%	Число плодов	%
0	144	8,57	103	6,13	394	23,45
1	215	12,80	155	9,23	158	9,40
2	157	9,35	118	7,02	113	6,73
3	128	7,62	74	4,40	72	4,29
4	129	7,68	108	6,43	54	3,21
5	116	6,90	92	5,48	63	3,75
6	123	7,32	103	6,13	61	3,63
7	210	12,50	193	11,49	110	6,55
8	145	8,63	163	9,70	112	6,67
9	181	10,77	215	12,80	128	7,62
10	132	7,86	356	21,19	415	24,70

Табл. 2. Результаты отношения диаметров в пикселях к фактическому размеру цитрусовых плодов

Table 2. Results of the ratio of diameter in pixels to the actual size of citrus fruits

Шар	Диаметр	Фактический размер, мм	Отношение
1	74,2	59	1,25
2	67,3	53	1,26
3	80,3	65	1,23
4	76,2	60	1,27
5	78,7	62	1,26
6	76,9	61	1,26
7	71,1	56	1,26
8	77,5	62	1,25
9	56,8	46	1,22
Среднее	73,2	58	1,25

ВЫВОДЫ

Разработан новый алгоритм компьютерной визуализации для классификации качества плодов цитрусовых, основанный на размере плодов с одного дерева. Свойства изображения: площадь, периметр и диаметр цитрусовых – измерены в пикселях. Для того чтобы точно оценить размер плодов цитрусовых, определены отношения значений диаметра, периметра и площади в пикселях к фактическому размеру.

Проведена группировка 1860 плодов цитрусовых на основе размера диаметра, периметра и площади в пикселях. Результаты группировки сопоставлены с результатами обзорных исследований по размеру, которые проводились Комиссией Чеджу по цитрусовым. Сравнительные результаты показывают, что диаметр изображений плодов в пикселях имеет более точный размер, чем другие два значения в пикселях, т.е. периметр и площадь.

REFERENCES

1. Anandkumar Patil, Ishwarappa R. K. Classification of crops using FCM segmentation and texture, color feature. *World Journal of Science and Technology*, 2012, vol. 10, no. 2, pp. 74–78.
2. Suchitra A. Khoje, Bodhe S.K., Alpana Adsul. Automated Skin Defect Identification System for Fruit Grading Based on Discrete Curvelet Transform. *International Journal of Engineering and Technology*, 2013, vol. 5, no. 4, pp. 3251–3256.
3. Jyoti A. Kodagali, Balaji S. Computer Vision and Image Analysis Based Techniques for Automatic Characterization of Fruits – A Review. *International Journal of Food Science & Technology (IJFST)*, 2012, vol. 2, no. 2, pp. 1–14.
4. Khalid M. Alrajeh, Tamer. A.A. Alzohairy. Date Fruits Classification using MLP and RBF Neural Networks. *International Journal of Computer Applications* (0975-8887), 2012, vol. 41, no. 10.
5. Yudong Zhang and Lenan Wu. Classification of Fruits Using Computer Vision and a Multiclass Support Vector Machine. *Sensors*, 2012, no. 12, pp. 12489–12505.
6. Mahendran R, Jayashree GC, Alagusundaram K. Application of Computer Vision Technique on Sorting and Grading of Fruits and Vegetables. *Journal Food Processing & Technology*, 2011, no. 5, pp. 1–7.
7. Devrim Unaya, Bernard Gosselinb, Olivier Kleynenc, Vincent Leemansc, Marie-France Destainc, Olivier Debeird. Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, vol. 75, pp. 204–212.
8. Elena Guzmán, Vincent Baeten, Juan Antonio Fernández Pierna, Josy A. García-Mesa. Using a Visible Vision System for On-Line Determination of Quality Parameters of Olive Fruits. *Food and Nutrition Sciences*, 2013, vol. 4, pp. 90–98.
9. Amir Alipasandi, Hosein Ghaffari, Saman Zohrabi Alibeyglu. Classification of three Varieties of Peach Fruit Using Artificial Neural Network Assisted with Image Processing Techniques. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 2013, vol., 9, no. 4, pp. 2179–2186.
10. Deepa P., Geethalakshmi S.N. A Comparative Analysis of Feature Extraction Methods for Fruit Grading Classifications. *International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences*, 2013, pp. 221–225.
11. Sajad Sabzi, Payam Javadikia, Hekmatrabbani, Ali Adelkhani. Promote of Sorting System of Bam orange using an adaptive neural-fuzzy inference system (ANFIS). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 2013, vol., 14, no. 5, pp. 1529–1534.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Ульзии-Орших Дордж**, Центр современных информационных технологий и обработки изображений, Школа электроники и информатики, Национальный университет Чонбук; **Адрес для переписки:** 664-14, 1 Га, Деокджин-Донг, Джеонджу, Чонбук, 561-756, Южная Корея; e-mail: ulzii158@chonbuk.ac.kr; chaehs7288@gmail.com

Уранбайгаль Деиджибал, Факультет математики, физики и информационных технологий, Школа инженерных наук и технологий Монгольского университета наук о живой природе, Улан-Батор, Монголия; e-mail: uranbaigal@mul.s.edu.mn

Хунсеок Чае, Центр современных информационных технологий и обработки изображений, Школа электроники и информатики, Национальный университет Чонбук

Лхагвадордж Бацамбуу, Факультет пищевой промышленности и гидротехники, Школа инженерных наук и технологий Монгольского университета наук о живой природе, Улан-Батор, Монголия; e-mail: lkhaqvadorj@mul.s.edu.mn

Алтанхимег Бадарч, Факультет экономической статистики и математического моделирования, Школа экономики и бизнеса, Монгольский университет наук о живой природе, Улан-Батор, Монголия; e-mail: altanchimeg.b@mul.s.edu.mn; shinebayar.d@mul.s.edu.mn

Шинебайар Далхаа, Факультет математики, физики и информационных технологий, Школа инженерных наук и технологий Монгольского университета наук о живой природе, Улан-Батор, Монголия; e-mail: altanchimeg.b@mul.s.edu.mn; shinebayar.d@mul.s.edu.mn

AUTHOR INFORMATION

✉ **Ulzii-Orshikh Dorj**, Center for Advanced Image and Information Technology, School of Electronics & Information Engineering, Chon Buk National University, address: 664-14, 1Ga, Deokjin-Dong, Jeonju, Chon Buk, 561-756, South Korea; e-mail: ulzii158@chonbuk.ac.kr; chaehs7288@gmail.com

Uranbaigal Dejidal, Department of Mathematics, Physics and Information Technology, School of Engineering and Technology, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia; e-mail: uranbaigal@mul.s.edu.mn

Hongseok Chae, Center for Advanced Image and Information Technology, School of Electronics & Information Engineering, Chon Buk National University

Lkhaqvadorj Batsambu, Department of Food Processing and Hydraulic Engineering, School of Engineering and Technology, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia; e-mail: lkhaqvadorj@mul.s.edu.mn

Altanchimeg Badarch, Department of Economic Statistics and Mathematical Modeling, School of Economics and Business, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia; e-mail: altanchimeg.b@mul.s.edu.mn; shinebayar.d@mul.s.edu.mn

Shinebayar Dalkhaa, Department of Mathematics, Physics and Information Technology, School of Engineering and Technology, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia, e-mail: altanchimeg.b@mul.s.edu.mn; shinebayar.d@mul.s.edu.mn

*Дата поступления статьи 04.08.2018
Received by the editors 04.08.2018*