

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Мухамедханов Улугбек Тургудович¹, Сувонов Бехруз Искандар угли², Дошанова Малика Юлдашовна³

¹ТГТУ имени Ислама Каримова, т.ф.д., проф.,

²Университет экономики и педагогики, ст.преп.,

³ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий, доцент

KEYWORDS

Машинное зрение, классификация, сортировка, зерно, анализ и обработка изображений, реальное время

ABSTRACT

Рассматриваются преимущества и достижения в области технологий машинного зрения для оценки и классификации качества продуктов питания в сельском хозяйстве. Обсуждаются основные требования к автоматизированным системам машинного зрения. Приводятся примеры применения для классификации и сортировки зерновых и других пищевых продуктов.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация оценки качества и классификации и сортировки пищевых и сельскохозяйственных продуктов требует неразрушающего, объективного определения в реальном времени («онлайн») необходимых качественных показателей для установления качества или пригодности продукта. Автоматизированные системы находят широкое применение в сельскохозяйственной и пищевой промышленности – при сортировке фруктов [7, 9, 12, 28], овощей [6, 18, 23], ягод [16], при исследовании характеристик зерновых культур [9, 12, 13], при оценке продуктов, таких как грибы [22], мясо [5], мучные изделия – пицца [5, 20] и др.

Предприятие, внедрившее автоматизированную систему для сортировки и оценки качества продукции, может значительно сократить затраты на переработку и контроль продукции; сделать более надежной и безопасной продукцию, поступающую на рынок.

Целью исследования является анализ существующих автоматизированных систем оценки качества сельскохозяйственных и зерновых продуктов, проведение сравнительного анализа используемых методов и технологий, а также выявление

основных преимуществ и недостатков, а также тенденций их развития.

Основные функции автоматической оценки качества и базовые элементы автоматизированных систем

Основные действия, которые выполняет типовые автоматизированные системы в сфере сельского хозяйства, включают: обнаружение дефектов, категоризацию продукции по форме, размеру, цвету, зрелости, сортировку по качеству, по степени зрелости, автоматизацию процессов хранения и переработки пищевых продуктов.

Основные функции при автоматической оценке качества и сортировке по качеству [1, 5, 27]:

–получение первичной информации (на основе визуальных изображений, спектральных характеристик, данных от измерений и др.) и определение показателей качества;

–классификация – идентификация по качественным признакам и отнесение к определённому классу (качеству);

–сортировка – физическое разделение по классам на качественные объекты и удаление посторонних примесей.

Анализ существующих современных автоматизированных систем оценки качества, предложенных рядом авторов [1, 5, 9, 12, 13, 25], свидетельствует, что основные требования, которые необходимо соблюдать: обеспечение регулярной подачи объектов в зону инспекции; полное сканирование объектов; извлечение полезного сигнала (на фоне шумов), содержащего необходимую информацию, на основе которой выбранный алгоритм распознаёт, к какому из заданных классов принадлежит оцениваемый продукт.

Основные компоненты классических автоматизированных систем являются:

– модуль подачи в автоматизированную систему;

– модуль получения первичной информации об объекте, включая камеру или другое оптическое устройство и систему освещения;

– модуль анализа и принятия решения: компьютерная система, оснащённая модулями

получения и обработки изображений и специализированным программным обеспечением;

– модуль выполнения механического разделения объектов по соответствующим категориям.

Сравнительный анализ основных неразрушающих методов и средств оценки качества

Методы получения первичной информации об объекте оценки – на рис. 1 представлена классификация наиболее распространённых методов, интегрированных в автоматизированные системы.

Для получения первичной информации о внешних качественных показателях объектов при анализе цвета, размера, формы, внешних дефектов и др., согласно ряду исследований [5, 6, 9, 11, 28], в основном используются CCD сенсоры.

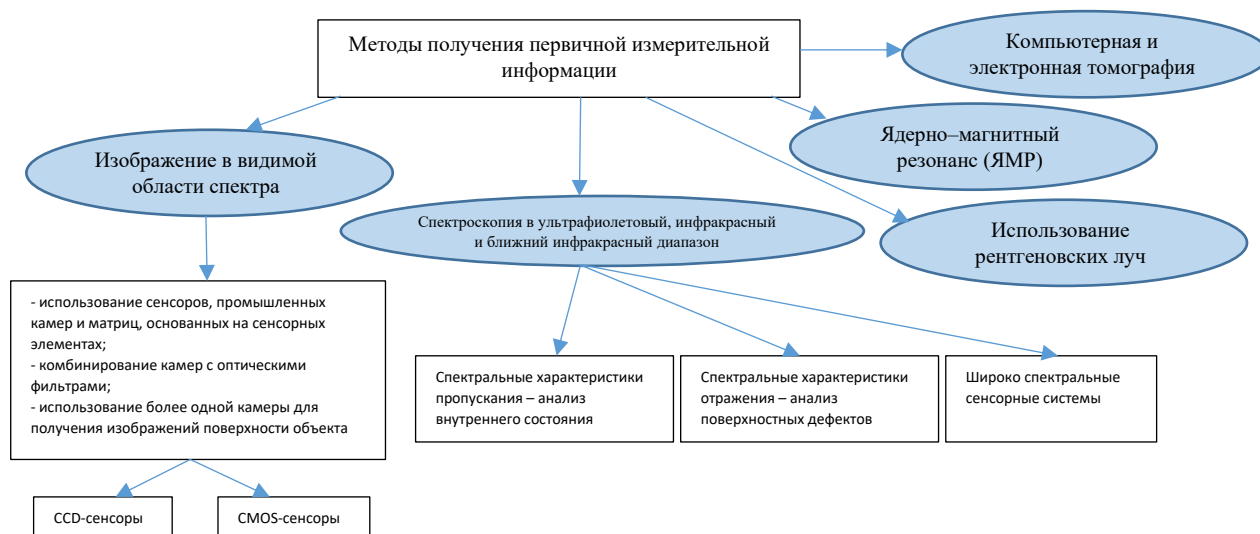


Рис. 1. Классификация методов получения первичной информации в автоматизированных системах

На рис. 2 показана одна реализованная автоматизированная система для сортировки яблок по внешним дефектам. Zou Xiao-bo [28] использует 3 цветные CCD камеры, при этом обрабатываются по 9 изображений на каждое яблоко. Перемещение плодов осуществляется

посредством роликовых транспортеров. Проведён сравнительный анализ процента неправильно классифицированных яблок – соответственно 21.8%, 14.3% и 4.2% при использовании 1, 2 и 3 камер.

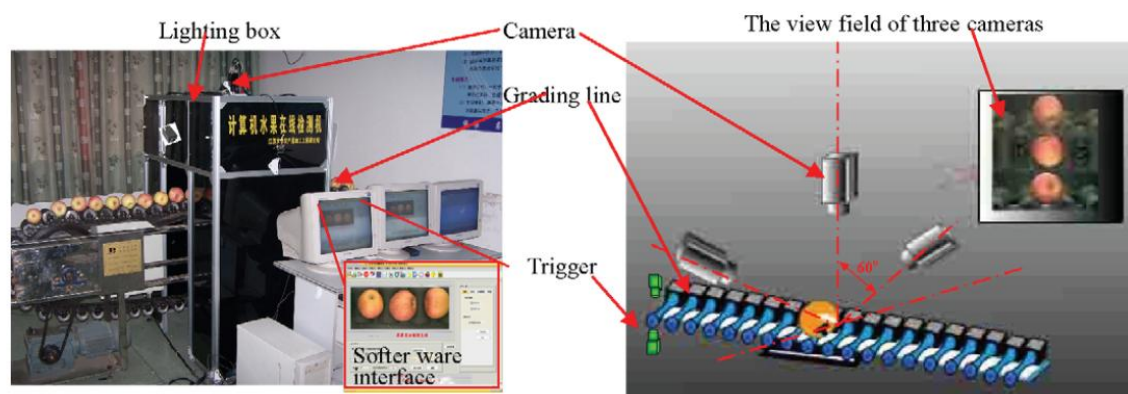


Рис. 2. Автоматизированные системы для оценки качества плодов

При анализе зрелости, твёрдости, содержания влаги, сахаров, крахмала, внутренних дефектов и др., необходимо получить первичную информацию о внутренних качественных показателях объектов. Основная информация получается посредством спектроскопии в ультрафиолетовой (UV), ближней инфракрасной области (NIR), инфракрасной области (IR) [3, 4, 5]. Согласно тенденциям, обозначенным рядом авторов, наиболее перспективные методы анализа изображений – это методы, основанные на гиперспектральных сенсорных системах [5, 22]. В этих системах сенсор собирает и обрабатывает информацию из всего электромагнитного спектра (от ультрафиолетового до инфракрасного спектра).

Применения рентгеновских лучей (X-ray imaging), компьютерной томографии и ядерно-магнитного резонанса ограничены из-за высокой стоимости оборудования при выполнении таких систем и низкой оперативной скорости.

Методы классификации пищевых продуктов, интегрированные в автоматизированные системы

При задачах классификации сельскохозяйственной и пищевой продукции в

реальном времени существенное значение имеет «время классификации» ввиду специфики сортировочных машин – оценка качества осуществляется непрерывно, в потоке и в режиме свободного падения продукта. Методы обработки изображений, требующие продолжительного времени на решение и основанные на большом объеме вычислительных процедур, практически «неработоспособны» при рассмотрении таких задач. Классификация – это информационный процесс и заключается в преобразовании информации о значениях признаков, описывающих объекты для классификации, в информацию о принадлежности им к предварительно определенному классу. При выборе адекватного классификатора основными критериями, которые учитываются, являются применимость, эффективность и время на классификацию, при достаточно высокой точности классификации. Эффективность различных классификаторов существенно зависит от статистических характеристик входных данных, используемых для формирования классификатора, то есть от обучающей выборки и априорной информации.

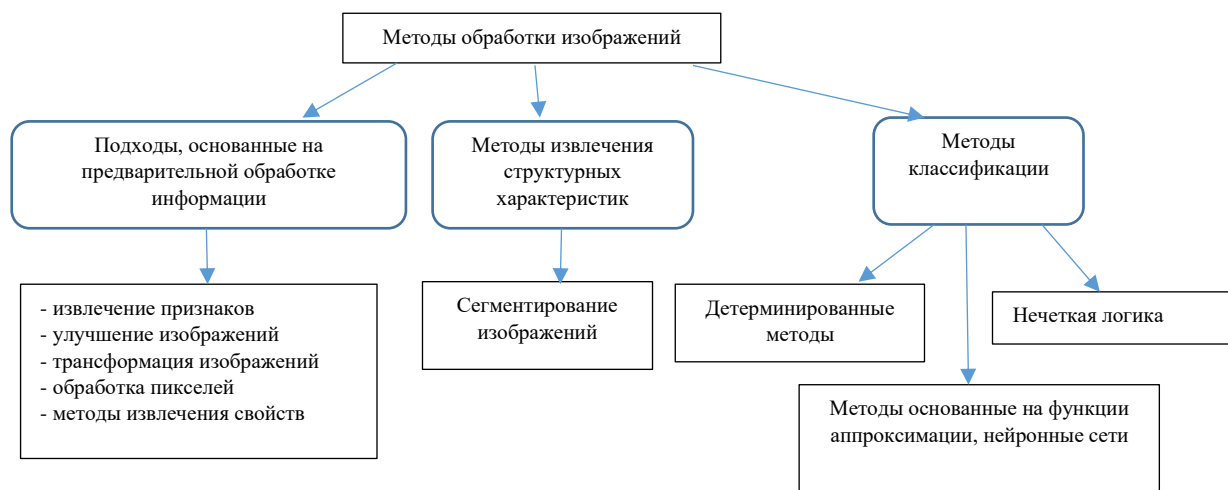


Рис. 3. Обобщённая классификация методов обработки изображений в автоматизированных системах

Применение автоматизированных систем при оценке качества сельскохозяйственной продукции

Необходимость в быстрой и эффективной оценке качества приводит к множеству исследований и разработок по данной теме.

Разработанная в [2] автоматизированная система, основанная на компьютерном зрении, сортирует семена плодов граната по цвету на четыре категории со скоростью до 75 кг/ч. Прототип машины состоит из трёх модулей. Семена направляются в зону инспекции с помощью шести транспортных лент; поле зрения камеры одновременно охватывает три ленты, благодаря чему обрабатываются изображения с нескольких лент одновременно; механическая сортировка по категориям осуществляется посредством воздушных инжекционных сопел.

На рисунке 4 представлена автоматизированная система, сортирующая рисовые зерна по 8 категориям. Система позволяет последовательно транспортировать определённое количество матрично расположенных рисовых зерен с помощью транспортной ленты к модулю для съёмки изображений и индивидуальной классификации каждого зерна по его цифровому изображению. Синхронизация управляющих сигналов осуществляется посредством программируемого логического контроллера (PLC). Разработано специализированное программное

обеспечение в среде Windows, которое запрограммировано как самообучающаяся система, то есть универсальная для различных сортов риса, с использованием сортировочного алгоритма, применяющего метод выбора диапазона (range-selection), нейронные сети и гибридный алгоритм. Наивысшая точность, достигнутая [24, 25], составляет 91% при скорости 1200 зерен в минуту.

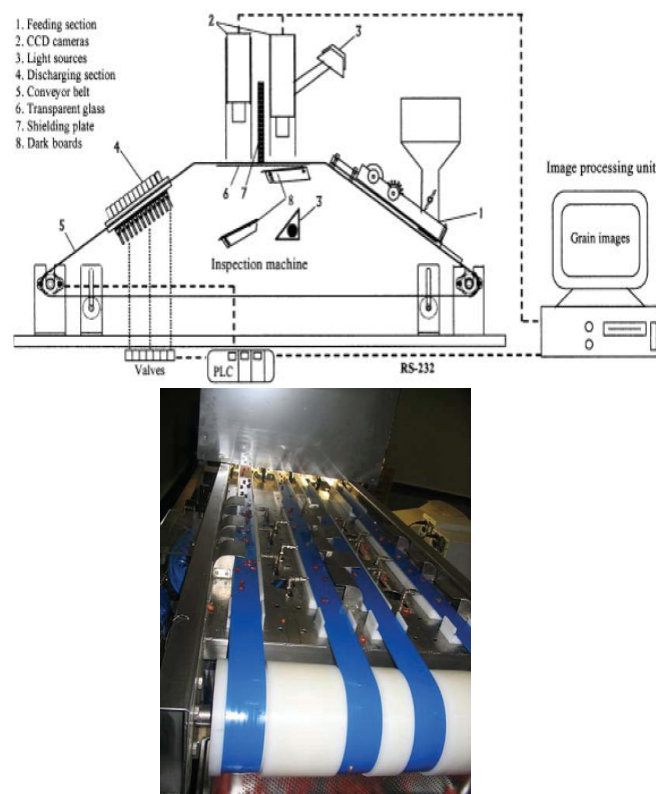


Рис. 4. Автоматизированная система классификации риса.

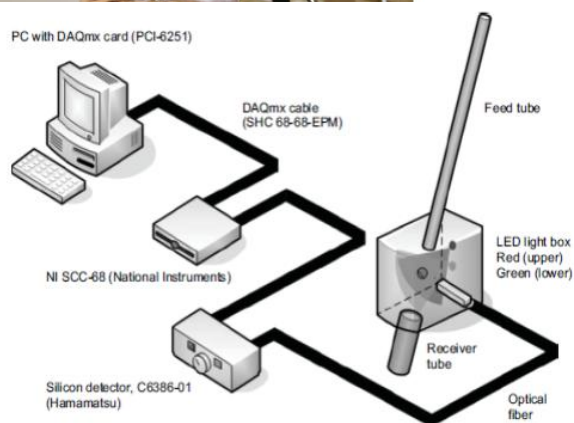
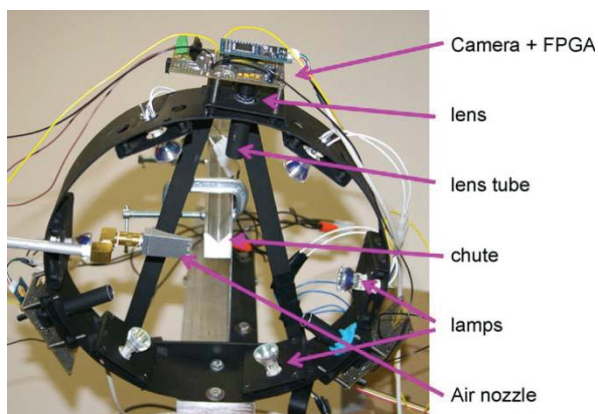


Рис. 5. Автоматизированная система с использованием оптической LED-системы – идентификация зерен пшеницы и кукурузы

В разработанной Делвичем автоматизированной системе используется импульсная оптическая LED-система (рис. 5) для обнаружения и удаления зерен пшеницы,

имеющих налёт, вызванный заболеванием фузариозом. Система построена таким образом, чтобы идентифицировать заражённые зерна в движении, пока они свободно падают. При регистрации заражённого зерна система активирует воздушную форсунку, и объект удаляется. Алгоритмы идентификации основаны на спектральных данных отражения в диапазоне от 1032 до 1674 нм и на дискриминантном анализе; достигнутая общая точность распознавания составляет 91%.

На рис. 5 показана сортировочная система для идентификации и удаления зерен пшеницы и кукурузы с плесенью и мелкими дефектами. Система сконфигурирована на основе трёх CMOS-визуальных сенсоров, связанных с комбинированными программируемыми FPGA-схемами. Классификация осуществляется методом линейного дискриминантного анализа, при этом точность варьируется от 88–91% для пшеницы и от 74–91% для кукурузы.

В таблице 1 систематизированы данные по разработанным автоматизированным системам, применяемым в аграрной промышленности для оценки качества зерновых культур. Также включены используемые методы и достигнутая точность распознавания.

Таблица 1.

Применение автоматизированных систем для оценки качества зерновых продуктов

Продукт	Применение – метод	Документированная точность	Литературный источник
Пшеница	Идентификация по сорту	94%	[5]
	Обработка черно-белых изображений; текстурные признаки	89,8–85,4%	[11]
	Обнаружение болезней – цветовые признаки, нейронные сети	0,97%	[5]
	Идентификация посторонних примесей – морфологические, цветовые и морфолого-цветовые модели	89 и 69% по морфологии, 71 и 75% по цвету	[10]
	Классификация двух сортов пшеницы: CMOS-визуальные сенсоры, связанные с FPGA; обработка изображений; дискриминантный анализ	88–91%	[16]

Продукт	Применение – метод	Документированная точность	Литературный источник
	Обнаружение фузариоза на пшеничных зёрнах: оптическая LED-система	95%	[5, 6]
	Обнаружение загрязнений пшеничных зёрен: спектральные и текстурные признаки; линейный дискриминантный анализ	91%	[5]
Кукуруза	Идентификация по размерным параметрам	73–90%	[10]
	Идентификация и удаление больных зёрен	91%	[10]
	Идентификация и удаление плесени: спектральные, CMOS/FPGA-сенсоры; обработка изображений; дискриминантный анализ	91%	[16], рис. 5
Рис	Сортировка – метод range-selection, нейронные сети и гибридный алгоритм	91%	[24, 25], рис. 4
Жито	Идентификация цельных, сломанных и испорченных зёрен	89,7%	[10]
	Классификация по форме, размеру, цвету и форме: статистический метод Харолика	96,7% — 9-й и 7-й х-х-и-те дни	[10]
Общее	Идентификация различных типов зерновых культур по текстуре и цвету	89%	[10]
Семена разных культур	Оценка зараженности зерна фузариозом: классификация по цветовым признакам с использованием модели RGB; линейный дискриминантный анализ (LDA)	90%	[2]

Что касается оценки качества зерновых культур, и в частности кукурузы, разработанные технические решения относительно немногочисленны и пригодны только для решения конкретных задач (Таблица 1). В частности, задача автоматизации процесса обнаружения зерен, зараженных фузариозом, до сих пор не решена. Теоретические исследования по обнаружению фузариозных зерен в основном направлены на биологические и химические методы, которые определяют морфологические особенности конидий, образующихся при заражении, и концентрацию летучих веществ, выделяемых заражёнными семенами. Одной из используемых технологий для идентификации фузариозных зерен [8] является так называемый электронный нос – см. рис. 6.



Рис. 6. Технологии обнаружения фузариоза в пробах кукурузы

Что касается диагностики заболевания фузариоз по содержанию/количеству микотоксинов, существует большое количество методов – газовая хроматография GC (capillary gas chromatography), жидкостная хроматография LC (liquid chromatography), тонкослойная хроматография TLC (thin-layer chromatography), масс-спектрометрия MS (mass spectrometry) и флуоресцентная поляризация FP (fluorescent polarization) – рис. 6, которые в основном основаны на химическом анализе и представляют собой многоступенчатые процедуры [17]. Эти методы неприменимы в промышленных условиях, где необходимо обрабатывать большие объёмы кукурузных семян.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор состояния и тенденций в области сельскохозяйственных и пищевых технологий показывает общую направленность на внедрение высокопроизводительных систем для автоматической сортировки. Основные предпосылки для работоспособности и эффективности автоматизированных систем заключаются в следующем: процесс не должен прерываться, его скорость не должна изменяться, оптическое излучение не должно влиять на свойства продуктов; должна быть гарантирована безопасность обслуживающего персонала. Наиболее полно этим требованиям соответствуют оптические методы получения первичной информации о качестве зерновых продуктов, поскольку они обладают рядом существенных и неоспоримых преимуществ: относительно просты в технической реализации, обладают высокой производительностью, информативностью, селективностью, гибкостью и оперативностью в производственном процессе, чувствительностью, технологической совместимостью и возможностью дистанционного управления.

Как основные тенденции развития выделяются использование CCD-камер для обнаружения внешних дефектов как наиболее экономически выгодный вариант, а также применение гиперспектральных визуальных систем при диагностике внутренних дефектов. Представленные в литературе аналитические методы диагностики заболевания фузариозом

основаны на химических анализах и представляют собой многоступенчатые процедуры. Вследствие этого такие методы неприменимы в промышленных условиях, где обрабатываются большие объёмы кукурузных семян и время обработки имеет существенное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baranyai L. Visual inspection of grains by digital image processing. Ph.D. Thesis, SzIE University, Budapest.
2. Blasco J., S. Cubero, J. Gomez-Sanchis, P. Mira, E. Molto, Development of a machine for automatic sorting of pomegranate (*Punica granatum*) arils based on computer vision, *Journal of Food Engineering* 90 (2009) 27–34
3. Brosnan T., da-Wen Sun, Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems – a review, *Computers and Electronics in Agriculture* 36 (2002), 193–213
4. Chen, P., McCarthy, M.J., Kauten, R., NMR for internal quality evaluation of fruits and vegetables. *Trans. ASAE* 32, 1989, 1747–1753.
5. Cheng-Jin Du, Da Wen Sun, Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation, *Trends in Food Science and Technology* 15 (2004), 230–249.
6. Chong V. K., N. Kondo, K. Ninomiya, M. Monta, K. Namba, Comparison on eggplant fruit grading between NIR-color camera and color camera, *Proceeding of the 2004 conference, ASAE*.
7. Diaz R., G. Faus, M. Blasco, J. Blasco, E. Molto, The application of a fast algorithm for the classification of olives by machine vision, *Food Research International* 33 (2000), 305–309
8. Falasconi M., G. Sberreglieri., Toxins detection in cereals by electronic nose: in vitro study., University of Brescia & INFM-CNR, Italy, 2004, Web: <http://tlab.ing.unibs.it>.
9. Liming Xu, Z. Yanchao, Automated strawberry grading system based on image processing, *Computers and Electronics in Agriculture* 71S(2010), S32–S39

10. Majumdar S., D.S. Jayas Classification of bulk samples of cereal grains using machine vision, *J. Agric. Engng. Res.* (1999) 73, 35–47
11. Manickavasagam A., G. Sathya, D.S. Jayas, N.D.G. White Wheat class identification using monochrome images, *Journal of Cereal Science* 47 (2008), 518–527.
12. Nagata, M., Cao, Q., Bato, P.M., Shrestha, B.P., Kinoshita, O. Basic study on strawberry sorting system in Japan. In: *Annual International Meeting Technical Papers*, Paper No. 973095, ASAE, (1997)
13. Nelson B., N. Hess. Automated official grain inspection system, *Annual International meeting*, ASAE, 2005.
14. Ni, B., Paulsen, M.R., Reid, J.F., Size grading of corn kernels with machine vision. In: *Annual International Meeting Technical Papers*, Paper No. 973046, 1997 ASAE
15. Pearson, T., Toyofuku, N., Automated sorting of pistachio nuts with closed shells. *Applied Engineering in Agriculture* 16 (1), 2000, 91–94.
16. Pearson T., Hardware based image processing for high-speed inspection of grains, *Computers and electronics in agriculture* 62 (2009), p. 12–18.
17. Pittet A., Modern methods and trends in mycotoxin analysis, 117th annual conference of the society of food environmental chemistry, 8-September, 2005, p. 424–444.
18. Rigney M. P., G. H. Brusewitz, G. A. Kranzler, Asparagus defect inspection with machine vision. *Transactions of the ASAE*, 35, 1873–1878, 1992.
19. Riquelme M.T., P. Barreiro, M. Ruiz-Altisent, C. Valero Olive classification according to external damage using image analysis, *Journal of Food Engineering* 87 (2008) 371–379
20. Schatzki, T.F., Haff, R.P., Young, R., Can, I., Le, L.C., Toyofuku, N., Defect detection in apples by means of X-ray imaging. *Trans. ASAE* 40, 1997. 1407–1415.
21. Sun, D.-W., Inspecting pizza topping percentage and distribution by a computer vision method, *Journal of Food Engineering* 44 (2000) p.245–249.
22. Taghizadeh Masoud, A. Gowen, C. O'Donnell, Comparison of hyperspectral imaging with conventional RGB imaging for quality evaluation of *Agaricus bisporus* mushrooms, *Biosystems engineering* 108 (2011), 191–194.
23. Tao, Y., Morrow, C.T., Heinemann, P.H., Sommer, H.J., Fourier based separation techniques for shape grading of potatoes using machine vision. *Transactions of the ASAE* 38 (3), 1995, 949–957.
24. Wan Y.-N., Kernel handling performance of an automatic grain quality inspection system, *Transactions of the ASAE Vol.* 45(2), p. 369–377.
25. Wan Y.-N., C.-M Lin, J.-F. Chiou , 2002, Rice quality classification using an automatic grain quality inspection system , *Transactions of the ASAE Vol.* 45(2): 379–387.
26. Yang Chang, S. Delwiche, S. Chen, I. Martin Lo, Enhancement of Fusarium head blight detection in free-falling wheat kernels using a bichromatic pulsed LED design, *Optical Engineering Vol.*48(2), 023602, 2009.
27. Zhang, N., Chaisattapagon, C., Effective criteria for weed identification in wheat fields using machine vision. *Transactions of the ASAE* 38 (3), 1995, 965–974.
28. Zou Xiao-bo, Z. Jie-wen, L. Yanxiao, M. Holmes, In-line detection of apple defects using the color cameras system, *Computers and Electronics in Agriculture* 70 (2010) 129–134.