

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Мухамедханов Улугбек Тургудович¹, Сувонов Бекхуз Исскандар угли², Дошанова Малика Юлдашовна³

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

²Университет экономики и педагогики, ст.преп.,

³ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий, доцент

KEY WORDS

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.

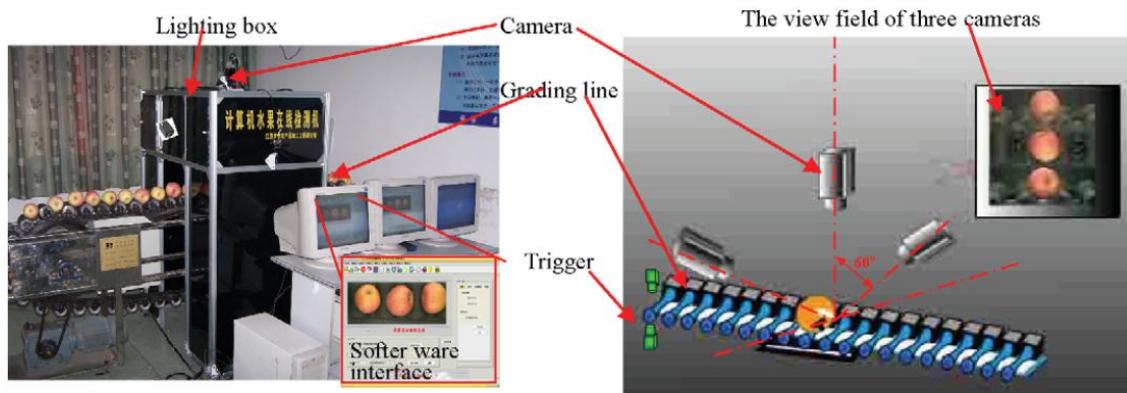


Рис. 2. Автоматизированные системы для оценки качества плодов

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.

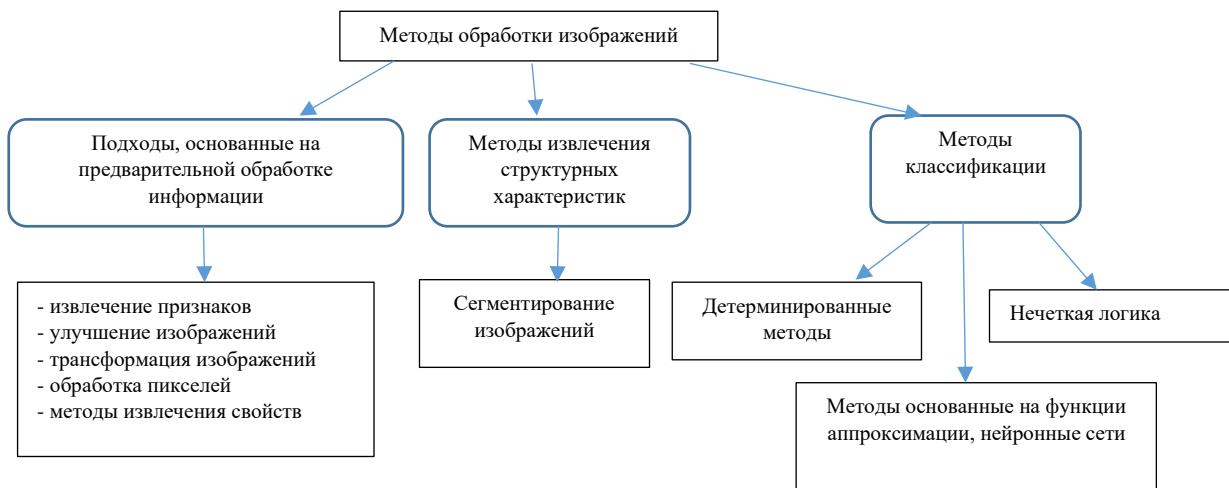


Рис. 3. Обобщённая классификация методов обработки изображений в автоматизированных системах

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 съемки изображений и индивидуальной классификации каждого зерна по его цифровому изображению. Синхронизация управляющих сигналов осуществляется посредством программируемого логического контроллера (PLC). Разработано специализированное

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.

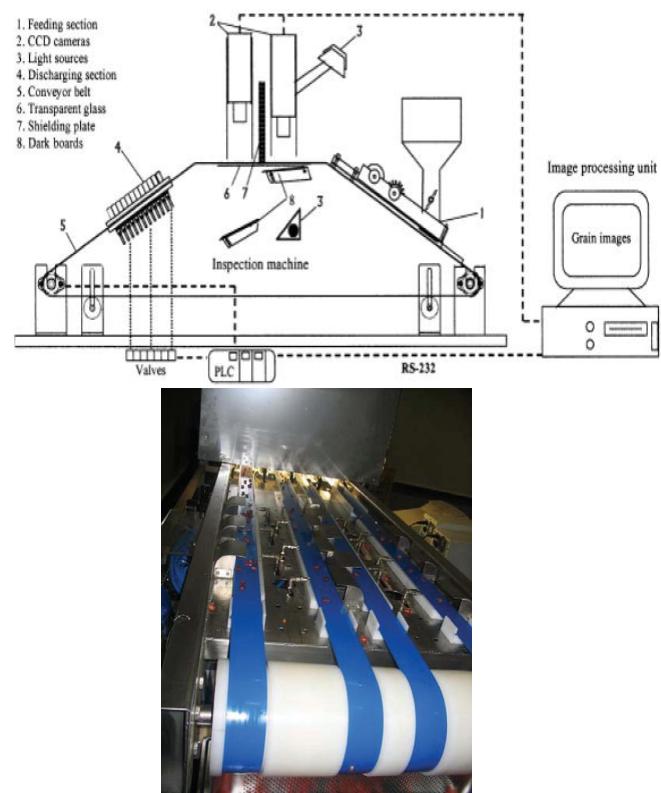


Рис. 4. Автоматизированная система классификации риса.

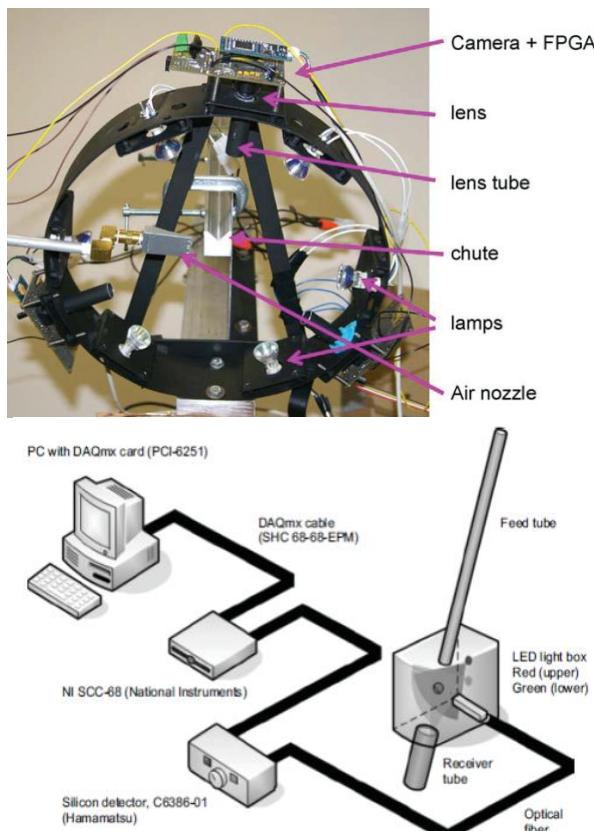


Рис. 5. Автоматизированная система с использованием оптической LED-системы – идентификация зерен пшеницы и кукурузы

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 зёдрах: 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-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-спектроскопия 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, SzE 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 & INFN-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.