

Анализ на съществуващи автоматизирани системи за окачествяване на селскостопански продукти и зърнени храни

Елеонора Кирилова

A review of automated systems and technologies for grading of agricultural and food products and cereals: The paper reviews the advantages and recent developments in the area of machine vision technologies for food inspection in agriculture. The basic requirements for automated machine vision systems are discussed. Examples of applications for inspection and grading of cereals and other food products; detection of disease and defects; analysis of grain characteristics and evaluation of foods are also given. Future trends in machine vision technology applications are discussed.

Key words: Machine vision, Inspection, Grading, Grain, Food, Image analysis and processing, Real-time.

ВЪВЕДЕНИЕ

Автоматизацията на окачествяването и сортирането на хранителни и земеделски продукти изисква неразрушаващо, обективно определяне в реално време ("online") на необходимите качествени показатели за установяване на качеството или пригодността на продукта. Автоматизираните системи намират широко приложение в селскостопанската и хранителната индустрии, при сортиране на плодове [7, 9, 12, 28], зеленчуци [6, 18, 23], ядки [16] при изследване на характеристики на зърнени храни [9, 12, 13, 23], при оценяване на храни като гъби [22], месо [5], тестени изделия - пици [5,20] и др. В наши дни използването на автоматизираните системи в една работеща индустрия е необходимост. Те притежават огромен потенциал, сравнително ниска цена, не голяма сложност на управлението им, бързина, висока продуктивност и широко поле на приложение. Предимствата на една автоматизирана система са много и неоспорими, като основните от тях са: повишава продуктивността, и като следствие от това намалява разходите за преработка и стойността на продукта; прави по-надеждни и сигурни операциите, които се извършват върху продукта; улеснява фермери и работници на поточни линии, като спестява физически труд и време.

Целта на изследването е да се анализират съществуващите автоматизирани системи за окачествяване на селскостопански и зърнени храни, да се направи сравнителен анализ на използваните методи и техники, да се набележат основните предимства и недостатъци, както и тенденции на развитие.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Основни функции при автоматичното окачествяване и базови елементи на автоматизираните системи

Основни дейности, които една стандартна автоматизирана система изпълнява в сферата на селското стопанство са: откриване на дефекти, категоризиране на продуктите по форма, размери, цвят, инспектиране на сортове, сортиране по качество, по зрелост, автоматизиране на процесите по съхранение и преработка на хранителни продукти.

Основните функции при автоматичното окачествяване и сортиране по качество са следните [1, 5, 27]:

1. Получаване на първична информация (на база визуални изображения, спектрални характеристики, данни от измервания и др.) и определяне на показателите за качество;

2. Класификация – идентификация на качествено им състояние и отнасяне към определен клас (качество);

3. Сортиране – физическо разделяне по класове на качествено обекти и отстраняване на чужди примеси.

Анализът на съществуващите съвременни автоматизирани системи за качествяване, предложени от редица автори [1, 5, 9, 12, 13, 25] показва, че основните изисквания, които е необходимо да бъдат покрити са: осигуряване на регулярно подаване (поединично или множество) на обектите в зоната за инспектиране; цялостно сканиране на обектите; снемане на полезния сигнал (на фона на шумове), съдържащ нужната информация на основата на която избрания алгоритъм разпознава към кой от зададените класове принадлежи окачествяваният продукт, след което чрез управляващ импулс към изпълнителния механизъм го насочва към съответната качествена фракция.

В пояснение на горепосочените изисквания, основните компоненти на класическите автоматизирани системи са:

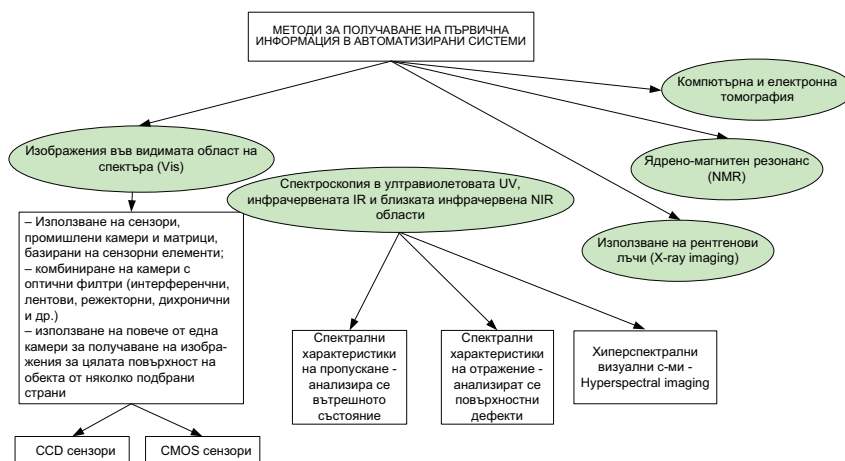
- модул за захранване на автоматизираната система;
- модул за получаване на първична информация за обекта, включващ камера или друго оптично устройство и осветителна система;
- модул за анализ и вземане на решение: компютърна система, оборудвана с модули за получаване и обработка на изображения и специализиран софтуер;
- модул за изпълнение на механичното разделяне на обектите в съответните категории.



Фиг. 1. Блок схема с ключовите елементи на една разпознаваща система

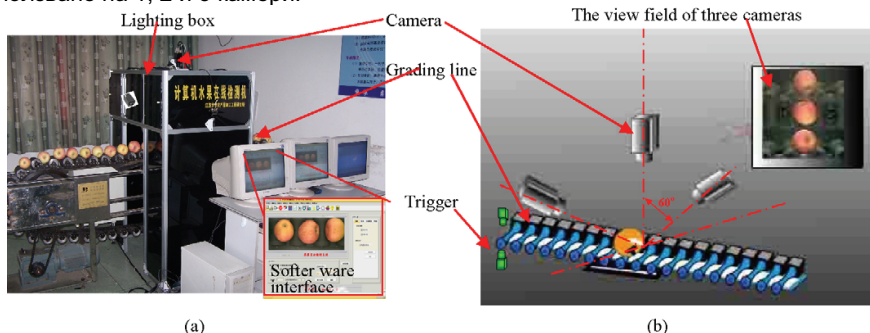
2. Сравнителен анализ на основните неразрушаващи методи и техники в системите за автоматично окачествяване

2.1. Методи за получаване на първична информация за окачествявания обект – на фиг.2. е дадена класификация на най-разпространените методи, интегрирани в автоматизирани системи:



Фиг. 2. Класификация на методи за получаване на първична информация в автоматизирани системи

За получаване на първична информация за външните качествени показатели на обектите, при анализиране на цвят, размер, форма, външни дефекти и др. според редица изследвания [5, 6, 9, 11, 28] се използват основно CCD сензори. На фиг.3. е показана една реализирана автоматизирана система за сортиране на ябълки по външни дефекти. Zou Xiao-bo [28] използва 3 цветни CCD камери, като се обработват по 9 изображения за всяка ябълка. Придвижването на плодовете е осъществено посредством ролкови транспортьори. Направен е сравнителен анализ за процента неправилно калсифицирани ябълки съответно 21.8% , 14.3% и 4.2% при използване на 1, 2 и 3 камери.



Фиг.3. Автоматизирани системи за окачествяване на плодове

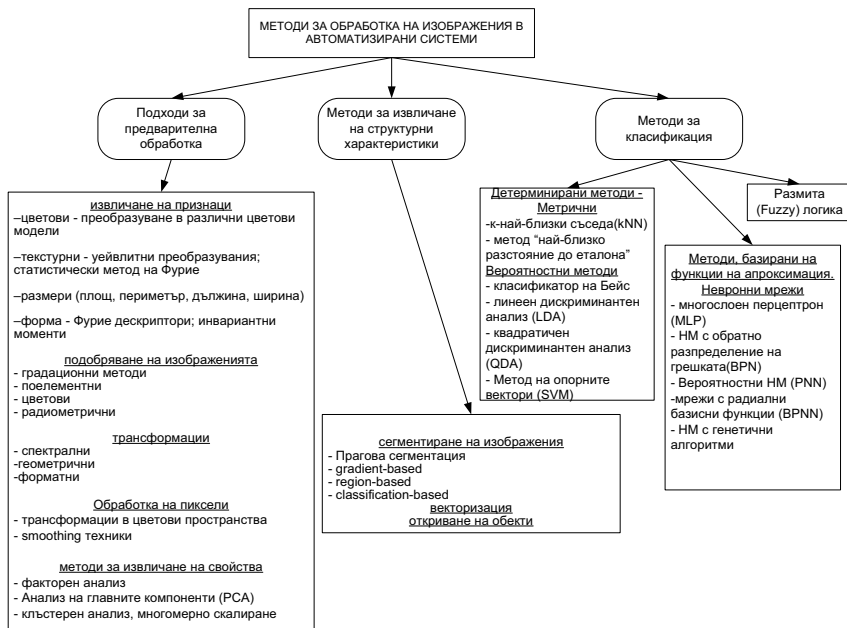
При анализиране на зрялост, твърдост, съдържание на влага, захари, скорбяла, нишесте, вътрешни дефекти и др. е необходимо да се получи на първична информация за вътрешните качествени показатели на обектите, основно информацията се получава посредством спектроскопия в ултравиолетовата (UV), близката инфрачервена област (NIR), инфрачервената област (IR) [3, 4, 5]. Според тенденциите, които се очертават от редица автори, най-перспективните методи за анализ на изображения са тези, базирани на хиперспектрални сензорни системи [5, 22]. При тези системи сензорът събира и обработва информацията от целия електромагнитен спектър (от ултравиолетовия до инфрачервения спектър).

Приложенията на рентгенови лъчи (X-ray imaging), компютърната томография и ядрено-магнитен резонанс са ограничени поради високата цена на оборудването при изпълнение на подобни системи и ниската оперативна скорост.

2.2. Методи за класификация на хранителни продукти, интегрирани в автоматизирани системи

При задачите за класификация на земеделски и хранителни продукти в реално време от съществено значение е “времето за класификация” предвид спецификата на сортиращите машини – окачествяването се извършва непрекъснато, в поток и в режим на свободно падане на продукта. Методите за обработка на изображения, изискващи продължително време за решение и базирани на голям обем изчислителни процедури, са практически “неработоспособни” при разглежданите задачи. Класификацията е информационен процес и се състои в преобразуване на информацията за стойностите на признаците, описващи обектите за класифициране, в информация за принадлежността им към предварително определен клас. При избора на адекватен класификатор основните критерии, които се съблюдават са приложимост, ефективност и време за класификация, при достатъчно висока точност на класификацията. Ефективността на различните класификатори зависи съществено от статистическите характеристики на входните данни използвани за

формирание на класификатора, т.е. от обучаващата извадка и от априорната информация.



Фиг.3. Обобщена класификация на методи за обработка на изображения в автоматизирани системи

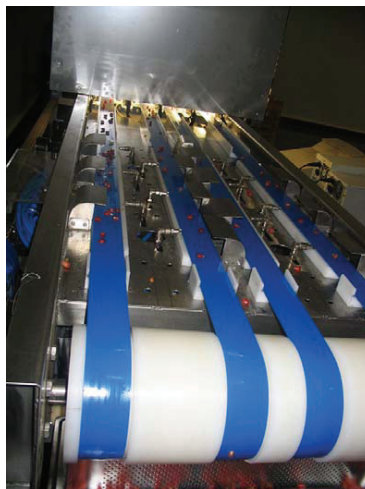
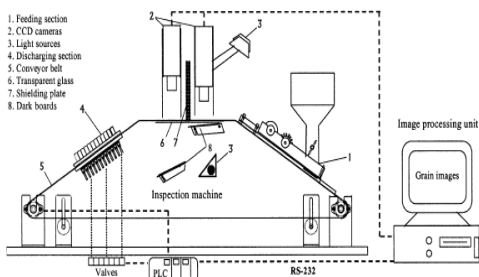
3. Приложение на автоматизираните системи при окачествяване на земеделски продукти

Необходимостта от бързо и ефективно окачествяване води до множество изследвания и разработки по темата.

Разработената в [2] автоматизирана система, базирана на компютърно зрение, за сортиране на семена на плодове нар в четири категории, по цвят достига скорост от 75 кг/час . Прототипът на машината е съставен от три модула (фиг.4.б). Семената се насочват към зоната за инспектиране поединично посредством шест транспортни ленти; зрителното поле на камерата обхваща едновременно областта на три транспортни ленти, като по този начин се обработват изображенията на повече семена едновременно; механичното сортиране в категориите се осъществява чрез инжекционни дюзи с въздух.

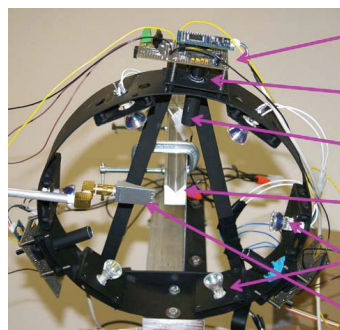
На фиг.4.а. е показана автоматизирана система, която сортира оризови зърна в 8 категории. Системата дава възможност за последователно транспортиране на определено количество матрично разположени оризови зърна, посредством транспортна лента до модула за снемане на изображения и класифициране индивидуално на всяко зърно по неговото цифрово изображение. Синхронизирането на задействащите сигнали се осъществява посредством програмируем логически контролер PLC. Разработен е специализиран софтуер в Windows среда, който е програмиран като самообучаваща се система, т.е. универсална за различни сортове ориз, с използване на сортиращ алгоритъм използващ *range-selection* метод,

невронни мрежи и хибриден алгоритъм. Най-високата точност, която се постига [24,25] е 91%, при 1200 зърна/минута.

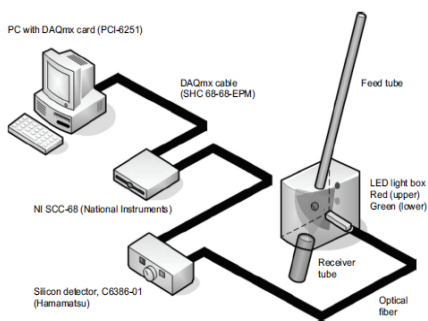


а)
Фиг.4.

б)



Фиг. 5 а)



б)

В разработената от Delwiche автоматизирана система се използва пулсова оптична LED система (фиг.5 б) за откриване и премахване на зърна пшеница, имащи налеп породен от заболяването Фузариоза. Системата е изградена така, че да идентифицира заразените зърна в движение, докато те падат свободно. При отчитане на заражено зърно системата задейства дюза с въздух и обекта се отстранява. Алгоритмите за идентификация са базирани на спектрални данни на отражение в областта от 1032 до 1674 nm и Дискриминантен анализ, постигнатата обща точност на разпознаване е 91%.

На фиг.5.а е демонстрирана сортираща система за идентифициране и отстраняване на пшенични и царевични зърна с плесени и малки дефекти. Системата е конфигурирана на база 3 CMOS визуални сензора, свързани с комбинирани FPGA програмируеми схеми. Класификацията се осъществява по

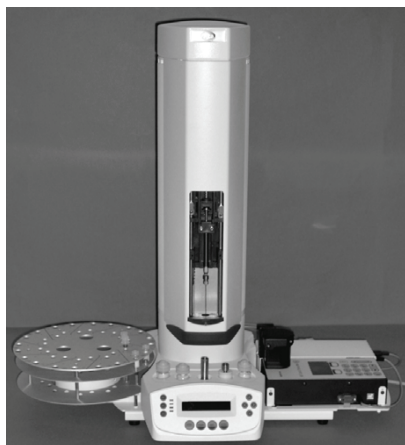
метода на Линеен Дискриминантен анализ, точността варира между 88-91% за пшеница и 74-91% за царевица.

В Таблица 1. са систематизирани данни за разработвани автоматизирани системи с приложения в аграрната индустрия за окачествяване на зърнени култури. Включени са също използваните методи и постигната точност на разпознаване.

Таблица 1. Приложение на автоматизирани системи за окачествяване на зърнени храни

Продукт	Приложение – метод	Докладвана точност	Литературен източник
пшеница	Идентификация на сорт	94%	[5]
	Обработка на черно-бели изображения; Текстурни признаци	89,8-85,4%	[11]
	Откриване на болести – цветови признаци, невронни мрежи	0,97%	[5]
	идентифициране на чужди примеси- Морфологични, цветови и морфологично-цветови модели	89 и 69% за морфологичния модел; 71 и 75% за цветовия модел	[10]
	Класифициране на два сорта пшеница; CMOS визуален сензор свързан с FPGA програмируеми схеми; обработка на изображения, Дискриминантен анализ	88 - 91%	[16]
	Откриване на Фузариоза по пшенични зърна; Оптична пулсова LED система; Дискриминантен анализ	95%	[26] фиг.5б.
	Откриване на Фузариоза по пшенични зърна Анализ на спектрални характеристики; Линеен Дискр. Анализ	91%	[3]
царевица	Определяне на множество параметри	–	[13]
	Определяне на размери	73-90%	[14]
	Откриване на цели и счупени зърна	91%- 94%	[14]
	Идентифициране и отстраняване на зърна с плесени; CMOS+FPGA схема; обработка на изображения, Дискриминантен анализ	91%	[16] фиг.5а)
ориз	Сортиране – <i>range-selection</i> метод, невронни мрежи и хибриден алгоритъм.	91%	[24, 25] фиг. 4а)
	Откриване на цели и счупени зърна	–	[5]
жито	Идентифициране на цели, счупени семена и чужди примеси – анализ на цветови, текстурни и характеристики за форма; статистически метод на Haralick	96,7 %-цветови х-ки 98,2%- текстурни х-ки 99.68 %- х-ки за форма	[1]
общо	идентифициране на различни типове зърнени култури по текстурни и цветови признаци; статистически класификатори	100%	[10]
Семена на различни култури	Откриване и премахване на чужди примеси – анализ на цветови признаци; Прагова сегментация на цв. признаци от модел RGB; Линеен дискриминантен анализ (LDA)	90%	[2]

По отношение на окачествяването на зърнени култури и по-конкретно царевица разработените технически решения са сравнително малко и пригодни за решаване само на конкретни задачи (Таблица 1.), в частност задачата за автоматизиране на процеса за откриване на зърна заразени с Фузариоза все още не е решена. Теоретичните изследвания за откриване на фузариозни зърна са насочени предимно към биологични и химични методи, които определят морфологичните особености на конидиите, образувани при заболяването и концентрацията на летливите вещества, които се отделят от заразени семена. Един от използваните технологии за идентифициране на фузариозни зърна [8] е т.нар. електронен нос – фиг.6а.



а)



б)

Фиг.6. Технологии за откриване на Фузариоза по царевични проби

По отношение на диагностициране на заболяването Фузариоза според съдържанието/количеството/ на микотоксини са известни голям брой методи (газ хроматография GC (capillary gas chromatography), течна хроматография LC (liquid chromatography), тънкослойна хроматография TLC (thin-layer chromatography), масспектроскопия MS (mass spectrometry) и Флуорисцентната поляризация FP-фиг.6б.), които като цяло се базират на химични анализи и представляват многостъпкови процедури [17]. Тези методи са неприложими в промишлени условия, където се обработват големи количества царевични семена

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прегледът на състоянието и тенденциите в сферата на земеделските и хранителни технологии показват общата насока към внедряване на високопроизводителни системите за автоматично сортиране. Основните предпоставки за работоспособността и ефективността на автоматизираните системи, които се очертават са: процеса да не се прекъсва, да не се изменя неговата скорост, оптичното излъчване да не влияе на свойствата на продуктите; да се гарантира безопасност за обслужващия персонал. Най-пълно на тези изисквания отговарят оптичните методи за получаване на първична информация за качеството на зърнени продукти, като те се открояват с още множество и неоспорими преимущества: относително лесно се реализират технически, имат висока производителност, голяма информативност, селективност, гъвкавост и

оперативност на производствения процес, чувствителност, технологична съвместимост и дистанционност. Като основни тенденции на развитие се очертават използването на CCD камери за откриване на външни дефекти, като икономически най-изгоден вариант, и използване на хиперспектрални визуални системи при диагностициране на вътрешни дефекти. Предложените в литературата аналитични методи за диагностициране на заболяването Фузариоза се базират на химични анализи и представляват многостъпкови процедури, в следствие на това тези методи са неприложими в промишлени условия, където се обработват големи количества царевични семена и времето за обработка е от съществено 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. Ninimiya, 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://tflab.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] Manickavasagan 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* 69 (2009) , p. 12-18.

- [17] Pittet A., Modern methods and trends in mycotoxin analysis, 117th annual conference of the society of food environmental chemistry, 8-9september, 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. ODonnell, 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 three color cameras system, Computers and Electronics in Agriculture 70 (2010) 129–134.

За контакти:

Докторант инж. Елеонора Стефанова Кирилова, Катедра “Автоматика, информационна и управляваща техника”, Русенски Университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082/888 684, e-mail : ekirilova@ru.acad.bg

Докладът е рецензиран.