

**СПЕЦИАЛИЗИРАН НАУЧЕН СЪВЕТ ПО
ЕЛЕКТРОННА И КОМПЮТЪРНА ТЕХНИКА ПРИ ВАК**

инж. Недялко Тодоров Катранджиев

**ОПТОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ЗА
ПРЕЦИЗНО СОРТИРАНЕ НА КАРТОФИ ПО МЕТОДА
„ВИЖДАНЕ ПРЕЗ СЛОЕВЕ“**

АВТОРЕФЕРАТ НА ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователната и научна степен

„ДОКТОР“

по научна специалност

02.21.11 - „Управляващи изчислителни машини и системи“

Научни ръководители:

доц. д-р Иван Михайлов Маслинков
ст. н. с. II ст. д-р Райна Петрова Чалъкова - Димитрова

Рецензенти:

ст.н.с. I ст. Никола Вичев Колев
ст.н.с. I ст. Живко Йорданов Железов

София, 2005 г.

2

Дисертационния труд е обсъден и насочен към защита от разширен учебно-научен съвет на катедрата „Електротехника и електроника“ при Университета по хранителни технологии - Пловдив.

Съгласно сключен договор на 11. 04. 2002 г. между ВИХВП - Пловдив, представян от доц. д-р Димитър Хаджикинов - Ректор и ИГК - Пловдив, представян от ст. н. с. д-р Павлина Параскова - Директор, обучението и извършването на експерименталната работа по дисертационния труд се осъществи във ИГК - Пловдив. Съгласно този договор дисертанта участва в проект по V рамкова програма на Европейския съюз - „Неразрушаваща NIR-технология за оценяване на вътрешното качество на плодове и зеленчуци, елиминирайки смущаващия ефект на кората им“. Изследователският проект (№ QLK1-2000-00455) е подпомаган от Европейската комисия, в тематичната програма „Качество на живота и управление на биоресурсите“.

Данни за дисертационния труд:

Дисертационния труд съдържа 144 страници, 64 фигури, 11 таблици, 143 заглавия за използвани литературни източници, от които 36 на кирилица и 107 на латиница. Състои се от четири глави, изводи, приноси, насоки за бъдеща работа, четири приложения, списък на трудовете във връзка с дисертацията и награди, Благодарности, литература.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на/03/2005 г. от 17 часа в зала 1434 блок I на ТУ - София на заседание на Специализирания научен съвет по Електронна и компютърна техника при ВАК.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултета „Електронна техника и технологии“ при ТУ - София.

Автор: Недялко Тодоров Катранджиев

Заглавие: ОПТОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ЗА ПРЕЦИЗНО СОРТИРАНЕ
НА КАРТОФИ ПО МЕТОДА „ВИЖДАНЕ ПРЕЗ СЛОЕВЕ“

Тираж: 60 бр.

ОБЩА ХАРАКТЕРСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Проблемът за качествения контрол на храните съпровожда цялата история на хранителното производство. В миналото оценката на различните признаци за качество се базираше изцяло на сетивна преценка от човек, така че оценката на качеството беше по-скоро изкуство, отколкото наука. Развитието на обективната методология за окачествяване на хранителните продукти през последните три десетилетия значително намали мястото на субективните решения.

Те едва ли могат да бъдат задоволителен и достатъчен критерий в голям мащаб, за широк кръг от операции. Например фактори като зрителна умора, отсъствие на цвetoва памет, различия в цвetoвото разграничаване между отделните хора, различия в осветлението и др. значително влияят върху решението на човека при визуалното определяне на качеството на даден продукт. Освен това човешкото око оценява само външния вид на продукта, а при редица продукти, например плодове и зеленчуци, трябва да бъдат открити не само външните, но и вътрешните дефекти. Визуално това може да стане само след разрушаване (разрязване) на продуктите. Именно затова са необходими нови идеи, методи и алгоритми, с помощта на които да се прецизира и напълно да се автоматизира целия процес „окачествяване-сортиране“.

Предложения и реализиран метод „Виждане през слоеве (Seeing Through Layers - STL)“, е нов български метод за оптико-математическо (виртуално) обелване на кората. Методът за пръв път е публикуван от Г. Кривошиев през 1999 г., като основната му идея е да премахне смущаващото влияние на кората и по този начин да се осъществи едно по-прецизно окачествяване и сортиране на плодове и зеленчуци.

Развитието и реализирането на този метод са включени в проекта от Пета рамкова програма на Европейския съюз, № QLK1-2000-00455, „Неразрушаваща NIR-технология за оценяване на вътрешното качество на плодове и зеленчуци, елиминирайки смущаващия ефект на кората им“, с партньори:

- Институт по Градинарство и Консерви (Координатор);
- Campden&Chorleywood Food Research Association, UK;
- VTT Electronics, Technical Research Center of Finland;
- ИНДЕКС - 6, Производство на машини за консервната промишленост.

Цел и задачи на дисертационния труд

Основната цел на дисертацията е да се приложи метода „Виждане през слоеве“ (STL) в оптоелектронна система за сортиране на картофи в поток по наличието и степента на вътрешни болести и дефекти.

За постигането на тази цел са формулирани следните задачи:

1. Получаване на NIR данни за комплекти от картофени клубени. Референтно оценяване и класифициране на картофените клубени;
2. Анализиране на данните и генериране на математически модели за неразрушаващо определяне на вътрешната оптична плътност по STL-метода;
3. Определяне на вътрешната оптична плътност на картофи със спектрометър;
4. Създаване на алгоритми и програма за прилагане на STL-метода при сортиране на картофи в поток;
5. Обучение на оптоелектронна система за класифициране на картофи в поток и в реално време;
6. Изпитване на оптоелектронната система.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава 1

Литературен преглед върху оценяване на качеството на някои плодове и зеленчуци с NIR спектроскопия

В тази глава е направен преглед на възможностите за определяне на качеството на плодове и зеленчуци и автоматичното им сортиране, при използване на спектроскопия в близката инфрачервена (NIR) област. Формулира се целта и задачите на дисертационния труд.

1.1 Определяне качеството на плодове и зеленчуци с NIR спектроскопия

За определяне на качеството на плодовете и зеленчуците най-често се използват размерът на плода, интензивността на основния цвят, вторичната окраска, твърдостта, формата, наличието на външни дефекти. Те са заложи в действащите стандарти за качеството на пресните плодове и зеленчуци. Въпреки че консуматорите купуват, доверявайки се на тези характеристики, следващите решения за покупка вече зависят от качеството, доловимо след изяждане на плода. Основни обективни показатели на вътрешното качество и зрелостта на ябълки, праскови и картофи са: разтворими сухи вещества, съдържанието на захари (скорбяла), титруема киселинност, отношението захари/киселини.

В условията на днешното модерно пазарно стопанство, съдържанието на разтворими сухи вещества вече намира израз в по високото ниво на цените в търговията на дребно. Включването на параметри на вътрешното качество в общата стокова оценка на плодовете и зеленчуците води до необходимостта (при първичната им обработка) от нови технологии за прецизно, неразрушаващо и бързо (в поток) измерване на посочените параметри. В това направление разтворимите сухи вещества създават такива реални възможности.

Оптичните свойства на плодовете и зеленчуците са важни характеристики за оценка на тяхното качество. Ранните постижения в тази област са били съсредоточени върху използването на видимата област от спектъра (VIS) за определяне на степента на зрялост. Обаче близката инфрачервена (NIR) област може да даде информация за състава на продукта, като например захари, мазнини и др. В някои от най-ранните разработки в областта на NIR приложенията са използвани близката до видимата и видимата области за получаване на информация за качеството на плодове и зеленчуци.

В продължение на 5 години Калинов, Чалъкова и Влахов изследват съхранемостта на ябълки от сортовете „Червена“ и „Златна превъзходна“. Изследванията са показали, че само оптичните показатели и разтворимите сухи вещества корелират добре с характерните степени на зрелост в момента на беритбата (за един срок от 30 дни).

Чалъкова през 1978 г. изследва спектралните характеристики на пропускане на някои плодове и зеленчуци. Предлага система за оценка на тяхната зрялост както и модели за развитие на зрелостта на домати през време на транспорт и съхранение. Резултатите са насочени към създаване на системи за автоматична сортировка по цвят. Тези изследвания по късно претърпяват развитие и се насочват основно към спектралните характеристики на картофи от гледна точка на разпознаването на външни и вътрешни дефекти.

Интересни са резултатите, получени в последните години по международният проект ASTEQ. Изследвано е качеството на ябълки предимно чрез спектрите на пропускане. Степента на зрелост се разпознава добре, а откриването на дефекти от натъртване е оценено като „обнадеждаващо“. Проблем при проведените изследвания са различните оцветявания на плодовете в различни години, т.е. кората се явява смущаващ фактор.

Изследванията на Meurens и др. са насочени към откриване на вътрешни дефекти: остъкляване, брашляност и вътрешно потъмняване. Точността на разпознаването е над 90%.

Slaughter изследва вътрешното качество на праскови и нектарини. Той определя едновременно съдържанието на няколко химични компоненти.

1.2 Автоматично сортиране на плодове и зеленчуци, основано на NIR спектроскопия

Хората са по забележителен начин неефективни при изпълнение на задачи по инспектиране, които изискват изследване на очевидно подобни продукти. След един относително кратък период от време тяхната визуална острота става притъпена, дори при извършване на „прости“ задачи по сортиране - отделяне на качествените продукти от некачествените или чужди продукти от потока на качествените продукти. Да бъдат карани хората да бъдат устойчиви при окачествяване на един продукт е повече от това, което може да се очаква от тях. Макар и да не са перфектни, сортиращите машини за специфично приложение се представят значително по-добре при сортиране на лоши и добри продукти, чужди тела от приемливи продукти и класифициране на качества.

Сортиращи машини се ползват в хранителната промишленост от 1930^{-та} година насам. Ползването им може до голяма степен да увеличи надеждността на окачествяването.

Най-ранните варианти на сортиращи машини са ползвали по-опростени детектори. През 30^{-те} години много от компаниите, предлагащи тези по-опростени машини са започнали да изследват и след това да разработват подходи, базиращи се на машинно наблюдение. Постепенно цветните камери понижавали цените си и успешно заменили монохромните. По този начин се поставило и началото на точното цветово сортиране на плодове и зеленчуци.

Някои от базираните в Европа компании предлагащи системи за машинно наблюдение със специфично приложение за сортиране и/или прясно пакетиране са: Aweta (придобила AutoLine), Barco Machine Vision (в по-голямата си част комбинирането на бившите Elbicon и Pulsarr), Belgian Electronic Sorting Technology (BEST), MAF Industries, Odenberg Engineering, Qsort, Sortex и др. Част от компаниите в този пазар базирани в САЩ са: Delta Technology, Durand-Wayland, Ensco, FMC Food Technology, Focused Technologies, Key Technology, Produce Sorters International, Sunkist, TTI/Exeter Engineering, Woodside Electronics. В допълнение на горното компанията Satake, от Япония, е придобила базираната в САЩ компания ESM. В този пазар е и компанията Comprac от Нова Зеландия, както и AGROSELECTOR[®], Германия.

Само компанията Sortex е инсталирала повече от 21 000 машини от 1947 г. насам. Една от последните им машини Niagara има над 100 инсталации по света.

Наред с развитието и усъвършенстването на външното оценяване все по-належащ стои въпросът за разпознаване и на вътрешното качество.

Измерването на спектралната пропускливост на цели домати преди повече от четири десетилетия направи възможно определянето на вътрешния им цвят – Birth, Norris и Yeatman (1957). Тези начални изследвания откриха

път за изследователска работа върху определяне на вътрешното качество на различни плодове и зеленчуци чрез директно пропускане или интерактанс.

Доказани бяха възможностите на спектроскопията във видимия и началото на NIR диапазона (до 1100 nm) за откриване на вътрешни болести и дефекти, както и за определяне на редица химични, физични и органо-лептични показатели на ябълки, праскови, кайсии, круши, фурми, пъпеши, ананас, домати, картофи и др. – Grünevald (1974); Birth, Dull, Renfroe и Kays (1985); Slaughter, Barret и Boersig (1996); Kawano (1994); Dull, Leffler, Birth, Zalzman и Schmilovitch (1991); Guthrie, Wedding и Walsh (1998) и др.

Известно е, че качеството на плодовете и зеленчуците може да се идентифицира коректно чрез техния спектър само тогава, когато лъчението пронизва (прониква през) целия обект. Независимо от това, в практиката намират приложение сортиращи машини, базиращи се на дифузно отражение за откриване на болести и дефекти, когато дефектната тъкан се намира в повърхностния слой и не по-дълбоко от 3-4 mm в плодовото месо.

В повечето случаи такива дефекти се откриват и визуално, но с използването на стандартни видеокамери и подходящ софтуер сортировачите от този вид все още се използват в практиката.

Познати са и опити за използване на стандартни камери за нощно виждане, отчитайки разликата в температурите на болната и здравата тъкан. Надеждното откриване на вътрешни болести и дефекти с помощта на отражателни спектри обаче е твърде ограничено - до слоевете близки до повърхността и в повечето случаи е недостатъчно.

Първото мащабно изследване за оценяване на вътрешното качество на плодове и зеленчуци чрез спектрите на пропускане е проведено в USDA (*US Department of Agriculture*) през 50^{-те} години на миналия век. По-късно K. Norris и др. създават първите инструменти за оценка на вътрешното качество и on-line устройство за откриване на вътрешните дефекти.

Г. Кривошиев и др. създадоха и внедриха фамилията ASC за сортиране по зрялост на домати, праскови и кайсии. AQS 602 на фирмата INAME (Fr.) е машина от последното поколение на тази фамилия, създадена и внедрена през 90-те години за сортиране на картофи според наличието на вътрешни и външни болести и дефекти.

Независимо от доказаните предимства на сортировачите, базиращи се на пропускливостта на NIR-диапазона, приложението им е все още ограничено. Ако кората е поразена от болести и дефекти, замърсена с почва или е с нарушена структура поради продължително съхранение, оценката на вътрешното качество по спектъра на отражение е практически невъзможна, а по спектъра на пропускане – недостатъчно надеждна. Тези недостатъци се дължат предимно на смущаващия спектър на кората, който е компонент както на спектъра на пропускане, така и на спектъра на отражение. През 1996 г. Г. Кривошиев изобретява метод за неразрушаващо измерване на вътрешната пропускливост на плодове и зеленчуци, базиращ се на теорията на Кубелка –

Мунк. D. Dham нарича този метод „Виждане през слоеве“ (STL) и предлага използването на формулите на Benford. Методът STL получава популярност след публикациите в LWT и NIR news, доклада и постерите, представени на IDRC-2000, САЩ, NIR 2001, Корея и Food & Nutrition for better Health, Италия, IDRC 2002, САЩ, European Symposium on Near Infrared Spectroscopy - 2003, Дания, ELECTRONICS - ET 2003, Созопол, България, IDRC 2004, САЩ.

1.3 Картофите като обект за окачествяване с оптоелектронна система

Картофите са зеленчуци с най-голямо производство в света, което е оправдано от потреблението и необходимостта от посевен материал. По данни на Economic Research Service, USDA средно за последните четири години (2000 - 2003 г.) производството на картофи надхвърля 19.5 милиарда тона. Повишаването на стандарта на живот и изискванията на консуматора за все по-добро качество при покупката на продукта определят необходимостта от прецизно неразрушаващо оценяване на качеството на картофите.

Една от причините за трудността на автоматичното оценяване е голямото разнообразие от вътрешни и външни дефекти при картофите.

1.4 Обобщение на данните от литературния обзор

Данните в публикациите от прегледаната литература са обобщени в представената таблица 1.1.

Видно е, че диапазонът от 600 до 1100 nm е подходящ за определяне на различни показатели на качеството чрез спектралната пропускливост на:

<u>картофи:</u>	<i>общи сухи вещества, външни и вътрешни дефекти;</i>
<u>кромид-лук:</u>	<i>сухи вещества;</i>
<u>зелен грах:</u>	<i>общи сухи вещества, неразтворими в алкохол сухи вещества, твърдост;</i>
<u>ябълки:</u>	<i>зрялост, вътрешни дефекти – остъкляване, брашненост, вътрешно потъмняване; позеленяване – хлорофил; натъртване;</i>
<u>пъпеши:</u>	<i>зрялост;</i>
<u>ендивия:</u>	<i>вътрешни дефекти;</i>
<u>праскови:</u>	<i>разтворими сухи вещества.</i>

Табл. 1.1 - Обобщени данни от обзора на литературните източници

Продукт	Качествен показател	Информационна λ , nm	Начин на измерване*
Кромид-лук	Сухи вещества	906	T
Картофи	Общи сухи вещества	800 - 1000	T
Картофи	Външни и вътрешни дефекти	710, 800, 850-875	T
Зелен грах	Сухи вещества, твърдост	880, 910, 940	T
Ендивия	Вътрешни дефекти	400 - 1000	T
Пъпеши	Зрелост	400 - 1000	Интерактанс
Авокадо	Зрялост (сухи вещества)	1200 - 2400	R
Ябълки	Вътрешни дефекти – остъкляване, брашненост, вътрешно потъмняване	550 - 1150	T
Ябълки	Хлорофил	670 - 680	Частично T
	Вода, въглехидрати	970	Частично T
	Натъртвания	600 - 750	Частично T
Ябълки	Вътрешен вид	800, 925, 1100	R, T
	Степен на зрялост	400 - 1700	T
	Хлорофил	670-700, 900-960	T
	Натъртване	1200	T
Ябълки	Беритбена зрялост - чрез цвят на кожата, скорбяла, сухи вещества, твърдост, титруема киселинност, pH, интензивност на дишане	500 - 1100	R
Ябълки	Беритбена зрялост	1100 - 2198	
Ябълки	Зрялост	400 - 1100	Частично T
Праскови	Разтворими сухи вещества	800 - 1050	T
Праскови	Разтворими сухи вещества, захароза, сорбитол	800 - 950	Интерактанс

* Обозначения: R - отражение, T - пропускане.

1.5 Изводи

Направеният преглед на литературата позволява да се направят следните изводи и обобщения:

- NIR спектроскопията се е наложила като перспективен метод за неразрушаващо определяне на качеството на плодове и зеленчуци и за създаване на съответната апаратура за „on-line“ сортиране;
- кората на плодовете и зеленчуците е смущаващ фактор при неразрушаващо определяне на вътрешното им качество;
- чрез дифузно отражение се оценяват само близките до кората слоеве на плодното месо – повърхностния цвят, повърхностните болести и дефекти; чрез пропускливостта на цели плодове се оценява интегралното качество на целия плод, включително и на повърхността;
- NIR изследванията, свързани с качеството на плодовете и зеленчуците, изискват дълготрайни усилия и голям обем информация, отразяваща годишни, климатични и сортови особености на обектите;
- ябълките, прасковите и картофите са обекти с доминиращо значение при използване на NIR технологиите за оценка на дефектите, цвета и други показатели на качеството;
- в промишлеността все още няма технология и техника за прецизно класифициране на картофи по вътрешни болести и дефекти, която да елиминира смущаващото влияние на кората.

Глава 2

Определяне на вътрешната пропускливост на картофи със спектрометър

Тук е разгледана същността на метода „Виждане през слоеве“. Разглеждат се и картофите като обекти, върху които се прилага методът „Виждане през слоеве“. За тази цел е разгледана възможността за определяне на вътрешната пропускливост на картофите.

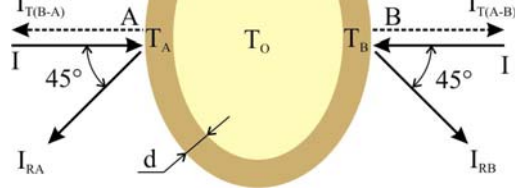
2.1 Материали и методи на работа

STL методът е замислен и създаден за картофите с цел прецизно откриване на вътрешни болести и дефекти в тях. Този продукт е изследван както в стационарно положение – със спектрометър, така и в режим на движение – със специално създадената за целта фотометрична камера.

Изследването на продукта със спектрометър е в диапазона от 600 до 1100 nm и е насочено към изясняване на влиянието на кората в този диапазон.

2.1.1 Същност на метода „Виждане през слоеве (STL)“

Методът се базира [1] на хипотезата, че много биологични обекти, включително плодове и зеленчуци могат да се апроксимират на трислойна структура: кора – месо на плода – кора (фиг. 2.1). Светлинната пропускливост на тази структура е:



Фиг. 2.1 - Процедура за неразрушаващо измерване пропускливостта на реален продукт

$$T = T_A \cdot T_0 \cdot T_B \quad (2.1),$$

а пропускливостта на месото на плода:

$$T_0 = T / (T_A T_B) \quad (2.2)$$

T_A и T_B са пропускливостите на кората съответно в мястото **A** на падащия светлинен лъч **I** и в мястото **B** на пропуснатия/излъчения лъч $I_{T(A+B)}$.

Общата пропускливост **T** на обекта се измерва при геометрия на директно пропускане, но пропускливостите T_A и T_B не могат да бъдат измерени, тъй като едната им страна е недостъпна. Тази трудност се преодолява, използвайки връзката между пропускливостта на слой с дебелина **d** и дифузното отражение **R**. Според теорията на Kubelka - Munk :

$$T_{A,B} = \frac{(1 - R^2) \cdot e^{-Sd \frac{1-R^2}{2R}}}{1 - R^2 \cdot e^{-2Sd \frac{1-R^2}{2R}}}, \quad (2.3)$$

където: **S** [**cm**⁻¹] е коефициент на разсейване на кората в точките **A**, **B**, и **d** [**cm**] е средната дължина на светлинната пътека.

От (2.2) и (2.3) получаваме базовия регресионен модел:

$$\begin{aligned} OD_0 = & a_0 + a_1 \ln(1/T) + a_2 \ln[1 - R_A^2] + a_3 \ln[1 - R_B^2] + \\ & + a_4 \ln[1 - R_A^2 \exp(-2b_A \cdot Sd)] + a_5 \ln[1 - R_B^2 \cdot \exp(-2b_B \cdot Sd)] + \\ & + a_6 Sd(b_A + b_B) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Вземайки под внимание реалните стойности на вариране на $R(0,2-0,8)$ при клубени с различно качество и приемайки усреднена стойност за силата на разсейване ($Sd \approx 1,0$), то след преобразуване се получават 2 уравнения, удобни за практическо ползване в NIR анализатори на качеството и on-line системи за сортиране:

$$OD_0 = a_0 + a_1 \ln(1/T) + a_2 \ln(1/R_A) + a_3 \ln(1/R_B) \quad (2.5)$$

$$\Delta OD_0 = A_0 + A_1 \ln(T_1/T_2) + A_2 \ln(R_1/R_2)_A + A_3 \ln(R_1/R_2)_B \quad (2.6)$$

Тук: **a**₀, **a**₁, **a**₂, **a**₃; **A**₀, **A**₁, **A**₂, **A**₃ са коефициенти, които се определят с MLR процедура;

1, 2 – индекси, съответстващи на дължини на вълните λ_1 и λ_2 ;

R_A, **R**_B – коефициенти на отражение в точките **A** и **B**, които, съгласно фигура 2.1, се измерват при геометрия **R**_{0/45}.

Следователно STL е метод за неразрушаващо измерване на вътрешната пропускливост на обекти, чрез виртуално обелване (изключване на влиянието) на повърхностния слой с помощта на дифузното отражение.

Разгледани са също и:

- Подбор и доставяне на проби от картофени клубени;
- Процедура на експеримента със спектрометъра;
- Получаване на NIR-данни;
- Референтно оценяване и класифициране на картофените клубени.

2.1.2 Статистически анализи и генериране на математически модели

Използван е софтуерният пакет GRAM, разработен в НИИКИП- Пловдив, и The Unscrambler 6.11 версия, CAMO, Норвегия.

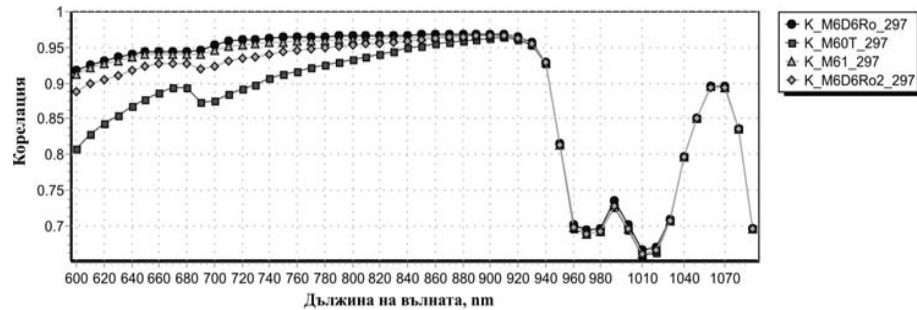
Същността на изчислителната процедура се състои в намирането на коефициентите на MLR модел с предварително избрана архитектура за всяка една дължина на вълната (през 5 nm). Така броят на получаваните модели съвпада с броя дължини на вълни в спектъра. Всички получени за дадена архитектура MLR модели се съхраняват заедно, което позволява бързо да се извеждат измерените и изчислените спектри. Архитектурата на MLR моделите е изградена в съответствие с метода „Виждане през слоеве“. Самите модели подробно са описани в дисертационния труд.

2.2 Резултати и обсъждане

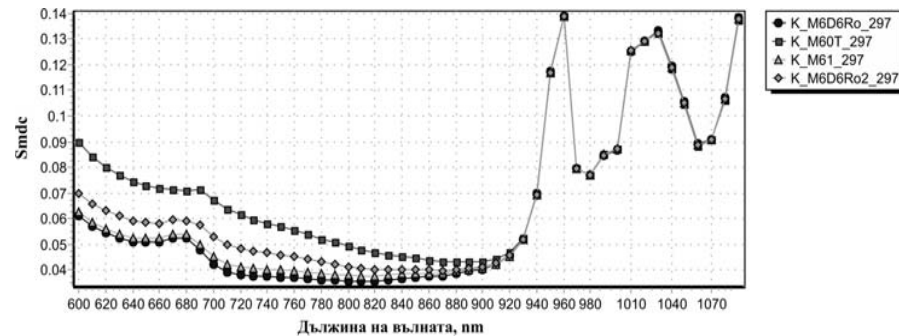
2.2.1 Определяне на вътрешната пропускливост на картофени клубени

На фигура 2.2 са изобразени стойностите на установения коефициент на корелация, а на фигура 2.3 – средноквадратичната грешка на калибриране, отнесена към диапазона на вариране на еталонната величина (тази стойност е означена с Smdc). В ролята на еталонна величина тук се явява оптичната плътност на физически обелените клубени.

От фигурите 2.2 и 2.3 е видно, че STL моделите, в които участва отражението (M6D6Ro, M6D6Ro2 и M61) осигуряват по-висока корелация и по-малка грешка от модела, в който участва само пропускливостта (M60T) в диапазона от 600 до 900 nm. Разликата е най-голяма при 600 nm и постепенно намалява с увеличаване на дължината на вълната. След 900 nm резултатите са еднакви и за четирите модела.

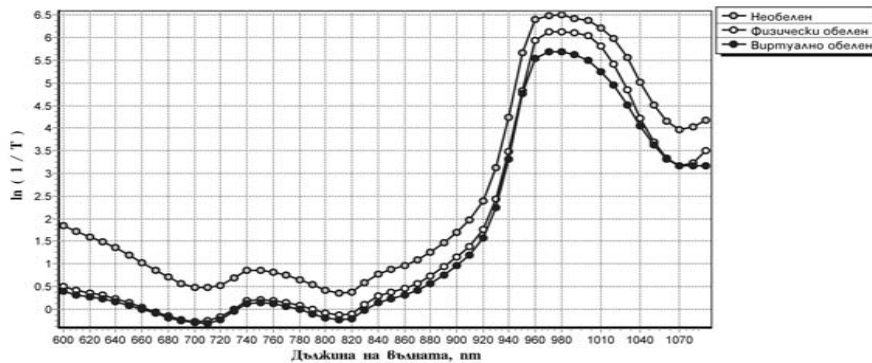


Фиг. 2.2 - Корелация при четири модела за 297 картофени клубени

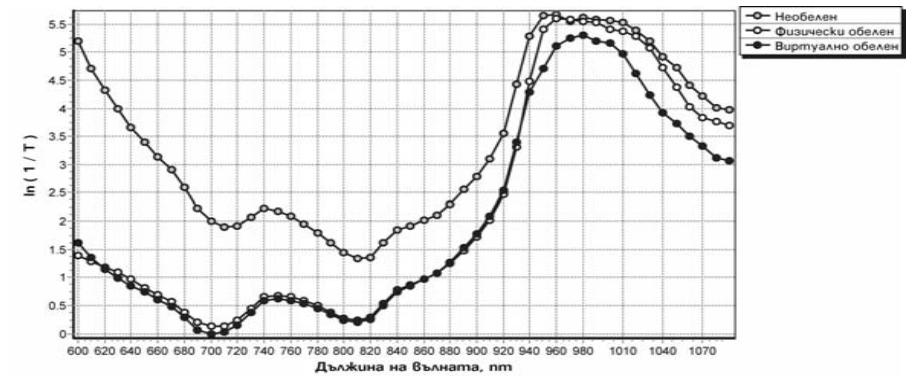


Фиг. 2.3 - Зависимост на грешката (Smdc) от дължината на вълната

STL-методът е илюстриран с фигурите 2.4 и 2.5, на които за два картофени клубена са показани: спектър на целия клубен (с кората), спектър на физически обеления клубен и изчисления спектър.



Фиг. 2.4 - Спектър на пропускане ($\ln(1/T)$) на необелен, физически обелен и виртуално обелен картоф (от сорта „Бинтие“) с поразена от краста кора (картоф 257)



Фиг. 2.5 - Спектър на пропускане ($\ln(1/T)$) на необелен, физически обелен и виртуално обелен картоф (от сорта „Кондор“) с розова кора (картоф 189)

Очевидна е близостта на измерения и изчисления спектри в областта от 600 до 940 nm.

2.2.2 Класификация на картофи по наличието и степента на вътрешни болести и дефекти

В зависимост от степента на дефектност, оценителят класифицира клубена в един от класовете C1, C2, C3 - Табл. 2.1

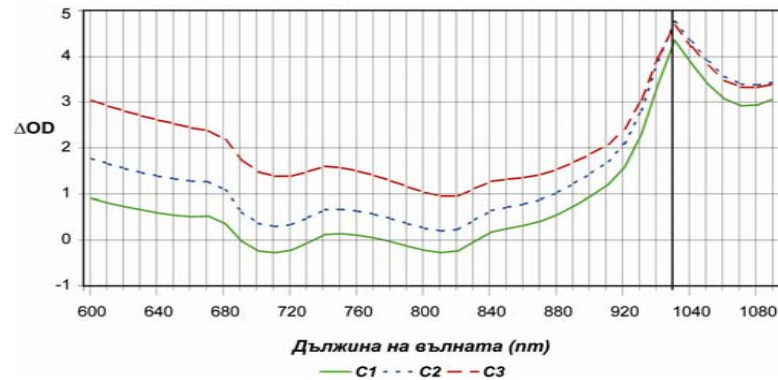
Табл. 2.1 - Степента на дефектност

Клас	Нива на критерия К, % „процент на дефектната маса“
1 ^{во} качество - C1	$0 \leq K < 2$
2 ^{во} качество - C2	$2 \leq K < 10$
3 ^{то} качество - C3	$K \geq 10$

Анализът на спектрите на обелени клубени (фиг. 2.6) показва, че с увеличаване степента на вътрешната дефектност се наблюдава общо увеличаване на ΔOD , особено под 900 nm.

Бяха необходими 6 главни компонента, за да обяснят повече от 99 % от общото вариране в първоначалния комплект от данни, като от тези 6 компонента първият обяснява 89,7 % от случаите.

Изведени са модели с 6 или по-малко на брой дължини на вълните за последващо използване в on-line режим с прототипа на V-камерата. Подборът на дължини на вълните беше извършен посредством стъпкова множествена линейна регресия (SMLR). Оказа се, че има 4 основни спектрални области, които съдържат полезна информация за класифициране на пробите според тяхното вътрешно качество: 600-630 nm; 670-710 nm; 830-880 nm и 1070-1090 nm.



Фиг. 2.6 - Средна оптична плътност за всеки от класовете при физически обелени картофи

От тях, с помощта на SMLR, бяха избрани шест най-добри дължини на вълните, което позволява да се намали броят на членовете, които се използват в регресионния анализ. Въпреки добрата информативност на областта 600-630 nm относно качествената оценка на клубените по еталонния метод, другите спектрални области се оказаха по-важни за разработването на най-точните модели.

Резултатите, получени при използването на индивидуални дължини на вълните, вместо главни компоненти (Табл. 2.2) показват високата ефективност на NIR-метода на спектралната пропускливост за класифициране на обелени картофени клубени според вътрешната им дефектност.

Табл. 2.2

*SMLR класификация на физически обелени картофени клубени според вътрешната им дефектност (за комплекта от 194 клубена)**

Клас (група)	Брой на клубените в клас	Правилно класифицирани клубени		Погрешно класифицирани клубени	
		брой	%	бр.	%
C1	138	132	95,7	6	4,3
C2	31	27	87,1	4	12,9
C3	25	16	64,0	9	36,0
Общо	194	175	90,2	19	9,8

* Кръстосано-валидиран двустепенен дискриминантен анализ с използване на 6 дължини на вълните в диапазоните (670-710), (830-880) и (1070-1090) nm

Повече от 90 % от пробите са вярно разпознати, а при разделянето на класа C1 от класовете C2 и C3 – повече от 95 % от пробите се класифицират

правилно. Последното показва много добро съответствие между инструменталната и субективната (сензорната) класификация на клубените от клас C1. Класифицирането на пробите от класовете C2 и C3 е доста по неточно, което се обяснява с ориентирането на дискриминантния модел към по-точно класифициране на C1-пробите. От практическа гледна точка подобна настройка на разпознаващата система е напълно резонна, тъй като групите C2 + C3 обикновено не надвишават 20 % от общото количество на суровината, постъпваща за машинно сортиране.

Данните в таблица 2.3 дават възможност да бъде сравнена точността на класификацията с 3^{-те} комплекта от данни – предсказаната с STL метода вътрешна оптическа плътност (виртуално обелени клубени), измерената оптическа плътност на необелените и измерената оптическа плътност на физически обелените клубени.

Видно е, че виртуалното обелване дава по-добри резултати от тези за необелените. Ако картофените клубени се класифицират инструментално необелени, загубата на качествена суровина (от класа C1) ще бъде 10,1 %, докато виртуалното обелване я намалява на 6,5 % (съгласно данните от крос валидацията). Резултатът е важен, тъй като от гледна точка на промишленото приложение на STL- метода клубените с високо вътрешно качество, годни за производството на структурни продукти (чипс и др.), трябва да бъдат отделяни от останалите клубени с минимални загуби. Този резултат е твърде оптимистичен, вземайки предвид, че 56 % от клубените в класа C1 имат лош външен вид – различни болести, дефекти и особености на кората.

Табл. 2.3

*SMLR класификация на необелени, виртуално обелени по STL-метода и физически обелени картофени клубени според вътрешната им дефектност**

Физическо състояние на клубените	Правилно класифицирани, %			
	C1	C2	C3	Общо
Калибриране				
Цели (необелени)	94,9	29,0	60,0	79,9
Виртуално обелени	97,8	25,8	72,0	83,0
Физически обелени	97,1	35,5	68,0	83,5
Крос-валидация				
Цели (необелени)	89,9	12,9	52,0	72,7
Виртуално обелени	93,5	19,4	60,0	77,3
Физически обелени	96,4	22,6	56,0	79,4

* Едностепенен дискриминантен анализ с използване на 6 дължини на вълните в диапазоните (670 - 710), (830 - 880) и (1070 - 1090) nm.

2.3 Изводи

От направените изследвания би могло да се заключи, че:

- при определяне на вътрешната пропускливост в диапазона от 600 до 900 nm на картофени клубени по метода „Виждане през слоеве“, STL-моделите (с участие и на отражението) M6D6Ro, M6D6Ro2 и M61 осигуряват по-висока корелация и по-малка грешка от модела M60T, в който участва само пропускливостта;
- информативни за вътрешното качество спектрални диапазони са: 600-630 nm; 670-710 nm; 830-880 nm и 1070-1090 nm;
- класификацията на виртуално обелените спрямо необелените клубени се подобрява: за 1^{-во} качество (клас C1) с 3,6%; за 2^{-ро} качество (клас C2) с 6,5%; за 3^{-то} качество (клас C3) с 8,0%;
- реализирането на STL-метода в една оптоелектронна система ще увеличи прецизността при сортирането на картофи според наличието и степента на вътрешни болести и дефекти.

Глава 3

Прилагане на STL-метода за сортиране на картофи в поток

В тази глава се засяга прилагането на метода „Виждане през слоеве“ за сортиране на картофи в поток. Разгледани са част от алгоритмите за предварителна обработка на данните и етапите на обучение на системата. Избрани са модели за определяне на вътрешната оптична плътност. Представена е методика за определяне информативни за качеството признаци както и алгоритъма за класифициране и взимане на крайното решение. Доказано е предимството на метода „Виждане през слоеве“, чрез използване на два вида алгоритми за разпознаване на вътрешното качество - метод на Бейс и метод на К - най-близки съседи.

3.1 Техническа реализация на метода. Описание на оптоелектронната система NIQAT01LAB

3.1.1 Сензорна система

Сензорната система – фотометричната V-камера¹ за сортиране на картофи чрез виртуалното им обелване има за свой прототип фотометричните камери на фамилията сортиращи машини ASC и по-специално на машината AQS602 с геометрия T_{0/2x135}.

¹ **V-камера** - оптоелектронен сензор за събиране и преобразуване на информацията необходима за извършване на виртуалното (V) обелване по метода „Виждане през слоеве“

Добавена е оптика за измерване на отражаемостта от мястото на падане на основния светлинен лъч (предна страна) с геометрия R_{0/2x45} и от мястото на пропускане/излъчване (задна страна) с геометрия R_{45/0}. Създадената оригинална камера е наименована NIQAT01LAB.

А) Предимствата на измервателната геометрия T_{0/2x135}

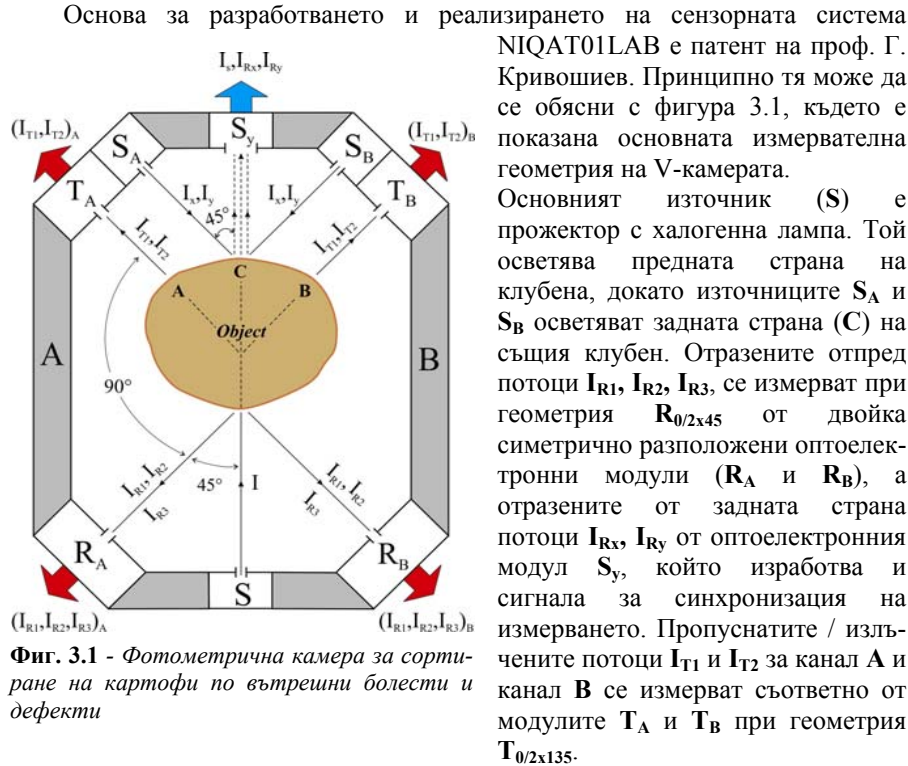
- а) Намалява ефективната дължина на светлинната пътека, което позволява коректно да се измерва пропускливостта на картофи и други плодове и зеленчуци с подобна големина, включително на семкови и костилкови плодове, характеризиращи се със слабо пропусклива сърцевина;
- б) Осигурява просто и точно синхронизиране на измервателните операции с движещите се обекти;
- в) Предотвратява директното попадане на светлина от светлоизточниците към детекторите, с което се избягва насищането на оптоелектронния тракт и се увеличават динамичният диапазон и бързодействието на тракта;
- г) Осигурява проста реализация на STL-метода по два отделни А и В оптически канала, в резултат на което:
 - Обектите се сканират от три страни, без да се изисква (налага) тяхното въртене;
 - Избягват се смущения от отразена паразитна светлина поради отклонения (отмествания) на движещите се обекти от центъра на измервателната зона, поради неправилна форма на обектите и др.;
 - Идентифицират се локални вътрешни дефекти, разположени на различни места в обектите;
 - Идентифицира се качеството на повърхностния слой – кората, което позволява обектите да се класифицират не само според вътрешното им качество, но и според качеството на кората.

Б) Сензорна система за класификация на картофите в поток

Автоматичното сортиране на биологични продукти е сложен процес и това налага твърде сериозни изисквания към оптоелектронната сензорна система, изпълняваща задачата за събиране и преобразуване на информацията, необходима за оценка на качеството на клубените по метода „Виждане през слоеве“.

Оптоелектронната сензорна система (или още наречена V-камера) изработва електрически сигнали, пропорционални на оптичското пропускане и отражение на картофите за информативните дължини на вълната с необходимата селективност, извършвайки надлъжно пространствено сканиране със стъпка 2-3 mm, а също формира сигнали за синхронизация и диагностика.

Освен че трябва да притежава необходимата чувствителност, но и параметрите на сензорната система трябва да са независими от промените в температурата, стареенето на компонентите и др.



Фиг. 3.1 - Фотометрична камера за сортиране на картофи по вътрешни болести и дефекти

V-камерата е създадена в България и е използвана успешно в 6 поколения сортиращи машини от фамилията ASC, предназначени да сортират домати, праскови и картофи посредством тяхната оптическа пропускливост. Системата NIQAT01LAB може да се разглежда като седмо поколение на същата фамилия.

Г) Описание на лабораторната система NIQAT01LAB

За извършване на експерименталната работа по обучение на PC за сортиране по метода STL е необходимо сигналите от камерата да бъдат преобразувани в цифров вид и изпратени по подходящ



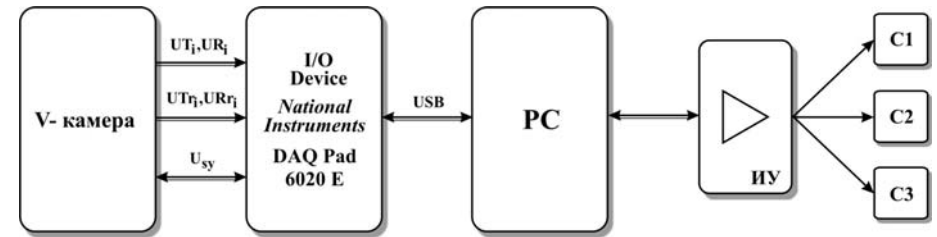
Фиг. 3.2 - NI DAQPad 6020 E

интерфейс към PC. Тази функция се изпълнява от входно-изходно устройство. След направено проучване беше избрано устройството DAQPad 6020E на фирмата National Instruments (фиг. 3.2). Връзката между компютъра и устройството се осъществява посредством универсалната серийна магистрала USB. За целите на лабораторния модел това решение има следните предимства:

- Бързо и лесно свързване към различни компютърни системи (USB интерфейс);
- Висока скорост на обмен на данни (100 kS/s, 12-bit, 16 аналогови входа и 8 цифрови (вх./изх.));
- Наличието на буфер за данните предпазва от загуба на данни при измерването;
- Наличието на управляем вътрешен тактов генератор позволяващ измерването през точно определен интервал от време.

Персоналният компютър е със CPU Pentium III 1.1GHz, 256MB RAM, 30 GB HDD и Windows XP операционна система.

Информационните и еталонните сигнали от V-камерата (сензора) се подават на входно/изходното устройство, а оттам към компютъра (PC), който извършва класификацията и подава сигнал към изпълнителното устройство (ИУ) за сортирането на съответният клубен (фиг. 3.3).



Еталонни сигнали - $UTr(t)_i$, $URr(t)_i$, λ_i , $i = 1, 2, 3$
 Информационни сигнали - $UT(t)_i$, $UR(t)_i$, λ_i , $i = 1, 2, 3$
 Синхронизиращ сигнал - $U_{sy}(t)$, λ - дължина на вълната
 ИУ - изпълнително устройство

Фиг. 3.3 - Блок схема на лабораторната система

- Отношението сигнал/шум за цялата система е $\approx 2.10^3$;
- Широчина на лентата на пропускане на инфрачервените филтри ≈ 15 nm;
- Като еталон се използва тefлонов цилиндър.

Вариациите на отношенията на отражение при преместване на еталон от тefлонов цилиндър (с диаметър $D = 40$ mm) с ± 20 mm от центъра на измервателната зона са $R_1/R_2 = 1 \pm 0,005$, $R_x/R_y = 1 \pm 0,005$.

На практика изпълнителното устройство не е реализирано. Самото разпределяне на клубените се правеше от човек-оператор в зависимост от сигнала за класификация подаден от компютъра.

3.1.2 Подаващ и отвеждащ модули

За провеждане на експерименталното изследване на NIQAT01LAB в условия, близки до практиката, бяха създадени три модула на механиката на NIQAT01LAB.:

- конвейер за точно подаване на картофените клубени в центъра на инспекционната зона на V-камерата така, че скоростта им да бъде ≈ 2 m/s и траекторията на движението да осигурява сканиране на обектите по дължината им; клубените се поставяха върху конвейера поединично и ръчно;
- рама за стабилно закрепване на V-камерата към пода и подаващия модул с възможност за настройка на камерата спрямо траекторията на движещите се обекти;
- улей за отвеждане на обектите, който не причинява вредни механични въздействия върху тях; обектите се отнемат ръчно от изхода на този модул.

Системата осигурява различни скорости на подаване на обектите и различни наклони на изхода на конвейерната лента. Проектирана е така, че към нея лесно може да се монтира просто дозиращо устройство – елеватор, а също така и пневматични (или други) сортиращи органи.

3.2 Алгоритми и софтуер за реализация на метода

3.2.1 Избор на дължини на вълните

Работните дължини на вълните (λ) са избрани вземайки под внимание данни от научни публикации, данни от предишни изследвания на колектива и резултатите от изследванията по проекта. NIQAT01LAB работи с 5 дължини на вълните:

$\lambda_1 = 710$ nm; $\lambda_2 = 840$ nm; $\lambda_3 = 680$ nm; $\lambda_x = 770$ nm; $\lambda_y = 880$ nm.

λ_1 и λ_2 се използват за измерване на пропускливостта на необелените клубени, λ_1 , λ_2 , λ_x и λ_y – на тяхната отражаемост, участвайки във V-моделите за виртуално обелване. λ_3 участва в дискриминантни модели за откриване на позеленели клубени.

Очевидно, идентификацията на качеството на клубените чрез спектъра на вътрешната им оптическа плътност се базира само на 2 дължини на вълните. Тази възможност, осигуряваща простота и надеждност на камерата, се обуславя главно от два фактора:

1) NIQAT01LAB не идентифицира каква е болестта (дефектът) на поразената тъкан, а се стреми да разпознае има ли наличие на дефект и колко голям е той спрямо общия обем на клубена;

2) В NIQAT се извършва пространствено сканиране по дължината на обектите. В процеса на сканирането се получават сигнали [1], пропорционални на оптичните плътности OD(L) и ΔOD(L):

$$\Delta OD(\lambda_j - \lambda_i) = \ln \frac{(1 - R_i^2)(1 - R_j^2 \cdot e^{-2b_j S_j d})}{(1 - R_j^2)(1 - R_i^2 \cdot e^{-2b_i S_i d})} + d(S_j b_j - S_i b_i) \quad (3.1)$$

при $d > 0$ следва, че ако:

a) $T_i > T_j \Rightarrow \Delta OD(\lambda_j - \lambda_i) > 0$;

b) $T_i = T_j \Rightarrow \Delta OD(\lambda_j - \lambda_i) = 0$;

c) $T_i < T_j \Rightarrow \Delta OD(\lambda_j - \lambda_i) < 0$.

Съотношението между T_i и T_j се определя от поглъщането и разсейването, формата на обекта, размерите и пр., - от неговото качество. При подходящ избор на λ_i и λ_j ΔOD(L) на бездефектните клубени с правилна форма има изпъкнала форма. В зависимост от формата и големината на клубена, кривата може да се апроксимира с полуокръжност, полусинусоида или с камбановидна крива от 4-та степен. При всяко нарушаване на качеството на клубена, формата на ΔOD(L) е вдлъбната и неправилна. Именно това обстоятелство се използва за идентифициране на качеството на картофените клубени.

Кривошиев и др. доказват експериментално, че камбановидна форма имат и цилиндричните проби, изрязани от картофени клубени и, че ΔOD(L) в краищата на такива проби се стреми към нула. Този ефект в краищата, когато $d = \text{const.}$, може да се интерпретира като еквивалентно намаляване (2 до 3 пъти) на средната дължина на светлинната пътека в самия край на пробите. Този ефект също представлява интерес при откриване на дефекти в краищата на клубените, което физически (оптически) е най-трудно.

3.2.2 Обучение на системата NIQAT01LAB

Обучението на РС да класифицира в реално време картофени клубени според вътрешното им качество, се състои от две основни части:

- Обучение за измерване на вътрешната оптическа плътност на клубените по STL-метода в процеса на тяхното сканиране със скорост, съответстваща на индустриалното приложение на системата NIQAT01LAB;
- Обучение за класифициране на сканираните клубени минимум на три класа в зависимост от наличието и степента на вътрешни болести и дефекти, базирайки се на оптическите плътности OD0(L)_A, ΔOD0(L)_A, OD0(L)_B, и ΔOD0(L)_B, измерени съответно за оптическите канали A и B на камерата NIQAT01LAB.

Хронологично така е разработван, тестван, коригиран и усъвършенстван софтуерът за управление на процеса на измерване на спектралните данни, тяхната предварителна обработка и по-нататъшното им използване.

А) Избор на математически модели за определяне на вътрешната оптическа плътност на движещите се клубени

В центъра на инспекционната зона клубените се движат перпендикулярно на оста на светлинния лъч, в резултат на което те се сканират пространствено по протежение на дължината им L . Така сигналите, пропорционални на пропускливостта и отражението са функции на дължината L . Измерването се извършва (квантова) през $0,8 \text{ ms}$, в резултат на което спектралните данни характеризират качеството на филии от клубени с дебелина $d \approx 0,8 \text{ ms} * 2,0 \text{ m/s} = 1,6 \text{ mm}$. По тази причина математическите V-модели² са калибрирани въз основа на данните от „централните филии“. Това до голяма степен е еквивалентно на калибрирането на моделите, получени при стационарно измерване на клубените със спектрометър.

Използвани са следните модификации на V-моделите 1.5 и 1.6:

$$M60XY \Rightarrow \Delta OD_{OV} = a_0 + a_1 \ln \frac{T_1}{T_2} + a_2 \ln \frac{R_1}{R_2} + a_3 \ln \frac{R_x}{R_y} \quad (3.2)$$

$$M61X \Rightarrow OD_{OV} = a_0 + a_1 \ln \left(\frac{1}{T_1} \right) + a_2 \ln \left(\frac{1}{R_1} \right) + a_3 \ln \left(\frac{1}{R_x} \right) \quad (3.3)$$

Тук: T_1, T_2 са пропускливости;

R_1, R_2 - коефициенти на отражения от предната страна на клубените;

R_x, R_y - коефициенти на отражения от задната страна;

a_0, a_1, a_2, a_3 - експериментално определени константи.

Индексите 1, 2, x, y съответстват на дължини на вълните $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_x, \lambda_y$.

$\lambda_1 \neq \lambda_x$, и $\lambda_2 \neq \lambda_y$, но отраженията при съответните двойки дължини на вълните имат достатъчно висока корелация.

Така вместо електронно време-импулсно разделяне на сигналите на отражение от сигналите на пропускане, се използва оптическо (вълново) разделяне. В условията на работата, този принцип осигурява по-проста техническа реализация на интелигентния модул на системата NIQAT01LAB.

λ_x и λ_y се оптимизират след избора на λ_1 и λ_2 , използвайки метода на „пробите и грешките“ в целия вълнов диапазон от 600 до 1100 nm и отчитайки условието за отдалеченост на λ_x и λ_y от λ_1 и λ_2 .

² V-модели - математико-статистически модели, с помощта на които се предсказва вътрешната оптическата плътност на клубена

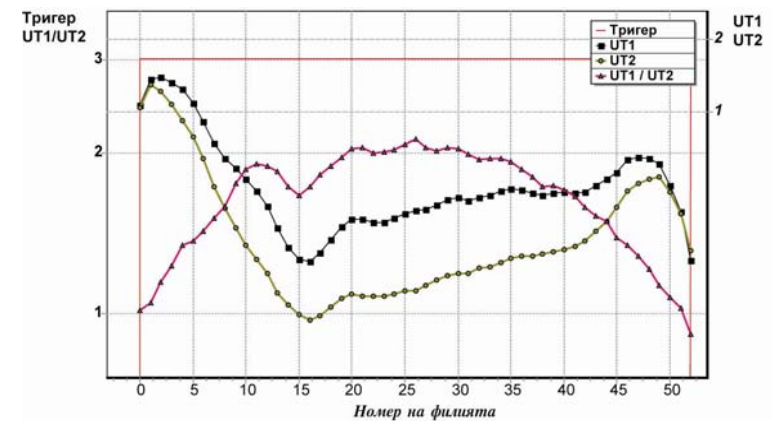
Коефициентите на V-моделите се получават с MLR процедура с достатъчно представителен комплект от проби от различни сортове и с различно качество.

Б) Определяне на вътрешната пропускливост на картофи при свободното им падане

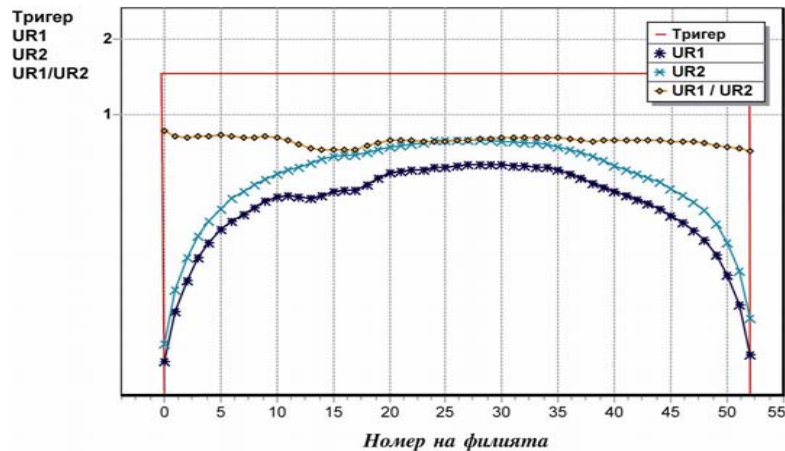
Съгласно STL-метода, вътрешната оптическа плътност на отделните филии (на виртуално обелените клубени) се изчисляват по съкратените формули на V-моделите (3.2) и (3.3).

В процеса на сканирането функциите $OD(L)$ и $\Delta OD(L)$ (L – дължина, представителен размер на клубена, по който се извършва сканирането) имат различна форма, която зависи от избраните дължини на вълните, формата и големината на клубените, наличието и мястото на болести и дефекти (фиг. 3.4 и 3.5). Така, идентифицирането на вътрешното качество се свежда до идентифициране на тези сигнали. В системата NIQAT то се базира на два метода за разпознаване на образи - на Bayes и модифициран метод на К най-близки съседи. Тези методи са допълнени с логически функции за обединяване на резултатите от идентификацията по двата А и В канала.

Точността, с която се измерва разликата в оптичните плътности (при работните дължини на вълните $\lambda_1=710$ и $\lambda_2=850 \text{ nm}$) на необелени (ΔOD) и виртуално обелени (ΔOD_{OV}) клубени е представена чрез корелирането им с ΔOD_0 на физически обелените клубени. Данните са получени в динамика - при движение на обектите през камерата с нормална скорост $\approx 2 \text{ m/s}$ - Табл. 3.1.



Фиг. 3.4 - Сигнали на пропускане при λ_1 и λ_2 измерени по време на сканиране на картоф № 55 при свободното му падане



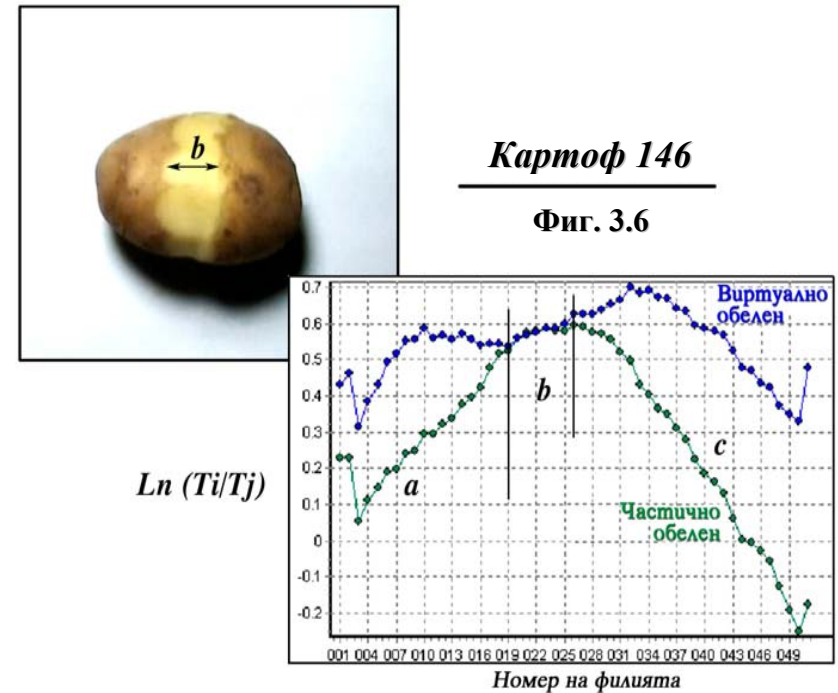
Фиг. 3.5 - Сигнали на отражение при λ_1 и λ_2 измерени по време на сканиране на картоф № 55 при свободното му падане

Табл. 3.1 - Точност на V-моделите

Комплект 1 – 676 клубена			Комплект 2 – 1132 клубена		
R	Sm _{dc}	V - модел	R	Sm _{dc}	V - модел
0,9616	0,0346	SM60, 710/850	0,9289	0,0438	SM60, 710/850
0,9375	0,0439	SM60T, 710/850	0,8983	0,0819	SM60T, 710/850

Означения: R- корелация;
Sm_{dc} - SEC спрямо диапазона на вариране;
SM60T - опростен модел без участието на дифузното отражение.

Фигура 3.6 представя действието на STL-метода чрез клубен с обелена кора в резултат на механично въздействие. Участъците **a** и **c** съответстват на ΔOD на необелените части на клубена, а участъкът **b** – на обелената част и **b** = 7 филии * 1,6 mm = 11 mm. В този участък предсказаната оптическа плътност ΔOD_0 е равна на измерената.



Картоф 146

Фиг. 3.6

3.2.3 Коригиране на сигналите при сканирането на клубените

Всички обекти при свободното си падане се движат равноускорително, докато сканирането се извършва през равни интервали от време (clock = const.). От това следва, че дебелината на слоевете (филийките), на които виртуално се разделят окачествяваните плодове или зеленчуци е различна. По тази причина сигналите, получавани след като обекта премине през инспекционната зона на фотометричната камера се изкривяват, а определянето на качеството на плодовете и зеленчуците се свежда до правилното разпознаване на получените при сканирането им сигнали, т.е. разпознаване на техните спектрални подписи. В тази точка е представен алгоритъм за коригиране изкривяванията на сигналите.

Тъй като сканирането става с постоянна стъпка (clock = const.), тогава в зависимост от подаването на обектите през фотометричната камера има две случая:

- обектите се движат с постоянна скорост - постъпващите сигнали са коректни;
- обектите се движат с променлива скорост - постъпващите сигнали са некоректни (изкривяват се).

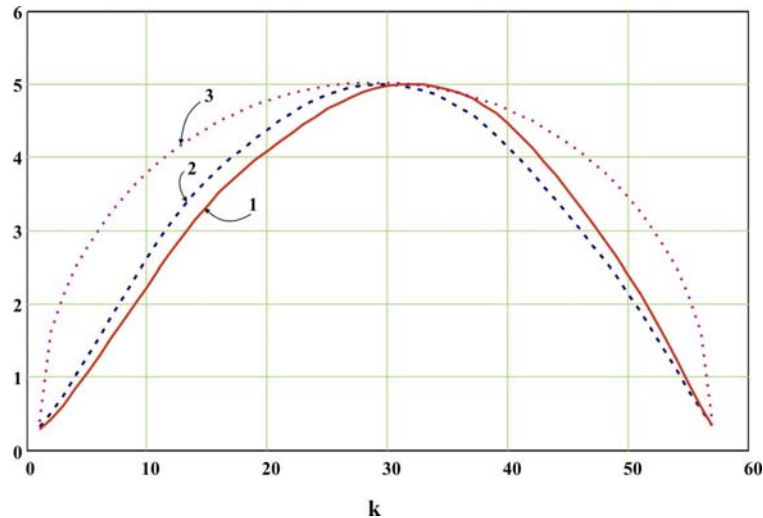
Ще разгледаме резултатите от алгоритъма приложен за втория вариант и по-точно случаят когато обектът пада свободно с начална скорост V_v през инспекционната зона на фотометричната камера.

Пример: Пускане на еталон (дървена топка от варен бук) през сканиращата зона на V-камерата. Еталона се пуска свободно и отвесно без начална скорост, като се елиминира движението по оста x . Топката е с радиус $r = 32 \text{ mm}$ и се пуска от височина $S_0 = 55 \text{ mm}$. Интервалът на сканиране е $\text{clock} = 0,8 \text{ ms}$, $g = 9,807 \text{ m/s}^2$.

Получените реализации са представени на фигура 3.7.

След изчисляване на един от информативните за качеството признаци - симетричността на реализацията относно нейната среда, се получава:

- за некоригираната реализация (1) - отклонението от симетричност е 13,343;
- за коригираната реализация (2) - отклонението от симетричност е 0,419.



Фиг. 3.7 - Реализация при сканиране на топката и сравнението и с полуокръжност (3) с диаметър равен на броя на филийките: 1 – некоригирана; 2 – коригирана; k - номер на филията

Вижда се, че при коригираната реализация отклонението е многократно по-малко, и се доближава до идеалния случай, при който отклонението от симетричността е равно на нула (понеже това е реализация при сканирането на сфера).

3.2.4 Модели на вътрешната пропускливост на картофи за прецизно неразрушаващо разпознаване на вътрешното им качество

Разпознаването на обекти, сигнали и диагностични състояния често се базира на еталони, с които се сравнява неизвестния обект (сигнал) с помощта на набор от признаци. В резултат на сравняването се взема решение за принадлежност на обекта към един или друг клас.

Изследвайки възможностите за неразрушаващо откриване на вътрешни болести и дефекти в картофи с помощта на спектралната им пропускливост Кривошиев установява следното:

- При подходящи дължини на вълните, вариацията на разликата между оптичните плътности ΔOD при сканирането на картофите по дължината им (L), носи ценна информация за наличието на болести и дефекти, съдържание на сухо вещество, генетични аномалии и др.
- Анализът на функцията $\Delta OD(L)$ е ефикасен инструмент за on-line класифициране (и сортиране) на картофените клубени с методите на изкуствения интелект.

За увеличаване прецизността на сортирането са създадени математически модели на вътрешната (на плодovото месо) спектрална пропускливост на перфектни – без болести и дефекти и с правилна форма картофи. Моделите се използват в оптоелектронната система за прецизно сортиране на картофи според вътрешното им качество.

А) Основни теоретични предпоставки

В зависимост от формата и големината на клубените, $\Delta OD(L)$ може да се апроксимира със следния модел:

$$Y_{Mi} = Y_o \cdot \left(2a \sqrt{\frac{i-1}{n-1} - \left(\frac{i-1}{n-1} \right)^2} + (1-a) \cdot \sin \left(\frac{i-1}{n-1} \cdot \pi \right) \right) + Y_{cp} \quad (3.4)$$

където: Y_{Mi} е стойността на ΔOD при интервал на сканиране (филия) i ;
 $i = 1, 2, \dots, n$ – номер на филията (n - брой на филиите).

- изчислява се величината $Y_0 = Y_{max} - Y_{cp}$, където $Y_{max} = \Delta OD_{max}$ – максималната стойност на ΔOD ;

- изчислява се изходното ниво

$$Y_{cp} = \frac{Y_1 + Y_n}{2}, \text{ където } Y_1, Y_n \text{ са стойности на } \Delta OD \text{ съответно за първата и на } n\text{-тата филия;}$$

$a = [0 + 1]$ – константа, която се избира в процеса на оптимизиране на модела (3.4).

Ако $a = 0 \Rightarrow Y_{Mi} = Y_o \cdot \sin\left(\frac{i-1}{n-1} \cdot \pi\right)$, моделът съответства на полусинусоида.

Ако $a = 1 \Rightarrow Y_{Mi} = 2 \cdot Y_o \sqrt{\frac{i-1}{n-1} - \left(\frac{i-1}{n-1}\right)^2}$, моделът съответства на полуокръжност.

Средноквадратичното отклонение (S_p) ще е:

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} \Delta_{ip}^2} = \sqrt{\frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} (Y_i - Y_{Mi})^2} \quad (3.5)$$

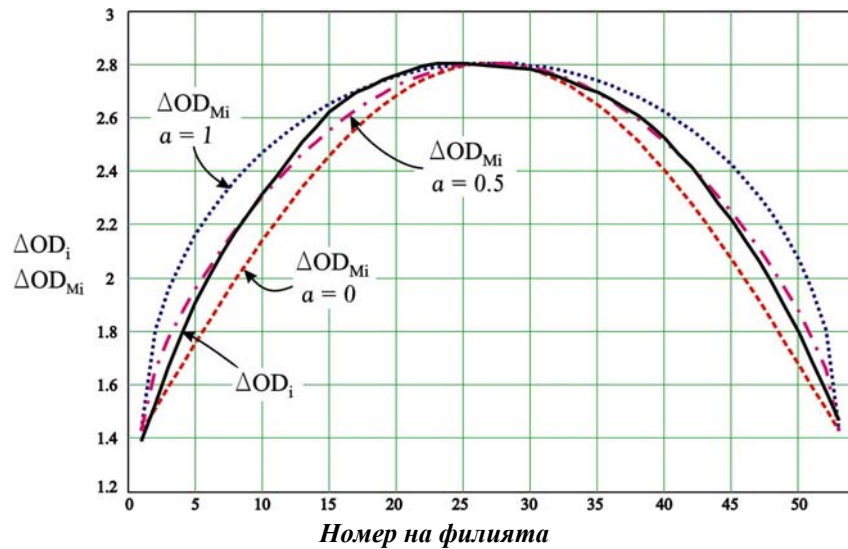
$p = 1, 2, \dots, n_p$ е номер филията на p -тата проба
 n_p – брой на филиите на p -тата проба.

Относителната грешка спрямо размаха (диапазона на вариране на Y_i) на всяка проба е:

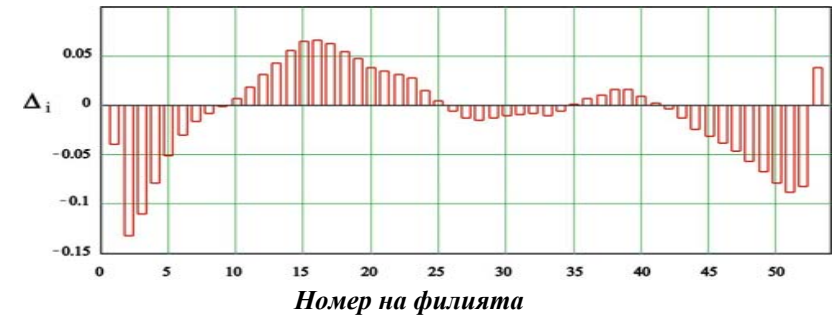
$$S_{отгр} = \frac{S_p}{(Y_{\max} - Y_{\min})_p} = \frac{S_p}{RAZ_p}, \quad (Y_{\max} - Y_{\min})_p > 0 \quad (3.6)$$

Б) Резултати от прилагането на моделите

а) Пример за картоф с перфектно качество (органолептично оценен в Клас 1)

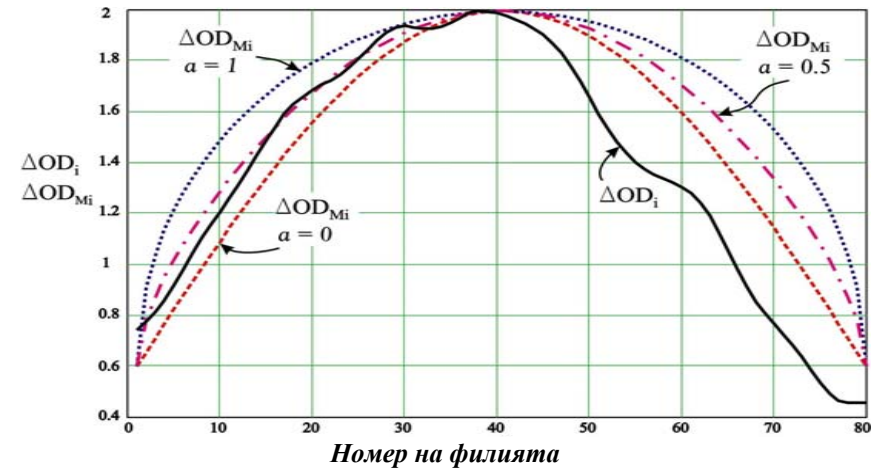


Фиг. 3.8а – Реализация на картоф 264 (с перфектно качество) и сравнението ѝ с модел (3.4), за $a = 0; 1; 0,5$

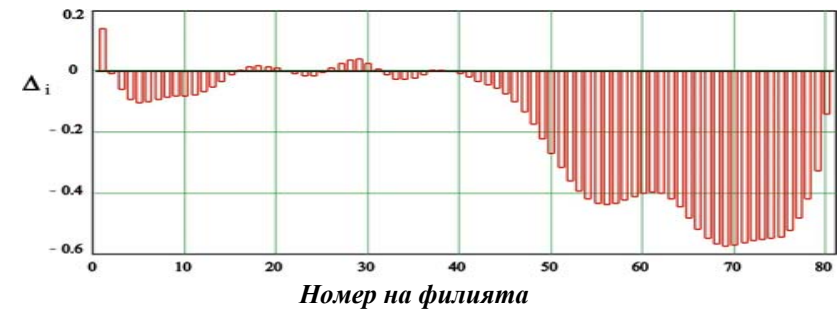


Фиг. 3.8b – Отклонение на реализацията на картоф 264 (Клас 1) от модел (3.4), при $a = 0,5$; $S_{отгр} = 3,16 \%$

б) Пример за картоф еталонно (органолептично) оценен в Клас 2

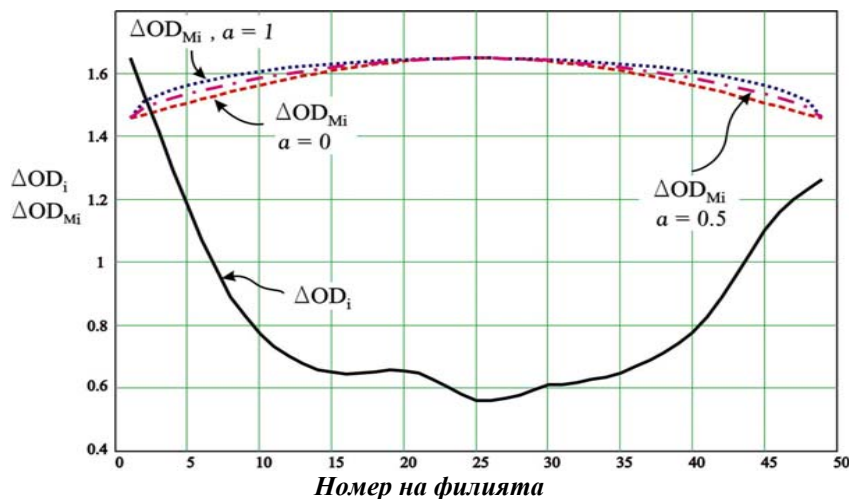


Фиг. 3.9а – Реализация на картоф 255 (Клас 2) и сравнението ѝ с модел (3.4), за $a = 0; 1; 0,5$

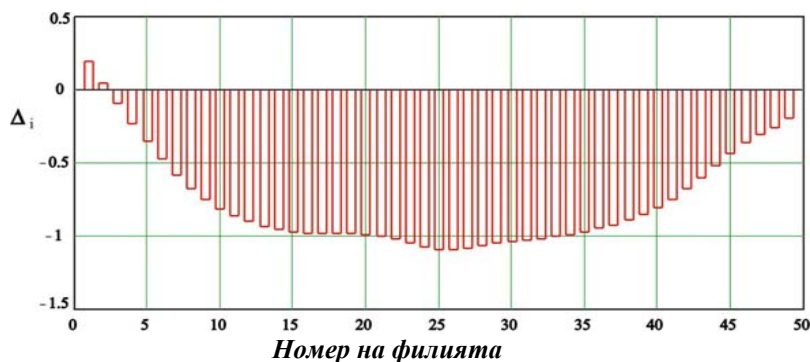


Фиг. 3.9b – Отклонение на реализацията на картоф 255 (Клас 2) от модел (3.4), при $a = 0,5$; $S_{отгр} = 18,84 \%$

в) Пример за картоф еталонно (органолептично) оценен в Клас 3



Фиг. 3.10а – Реализация на картоф 281 (Клас 3) и сравнението ѝ с модел (3.4), за $\alpha = 0; 1; 0,5$



Фиг. 3.10б– Отклонение на реализацията на картоф 281 (Клас 3) от модел (3.4), при $\alpha = 0,5$; $S_{отгр} = 76,23 \%$

Извод: От приложените примери на реализации на картофи в процес на свободно падане ясно се вижда разграничаването на отделните класове. Въз основа на грешката ($S_{отгр}$) може да се разпознава класът на обектите. Използвайки тази грешка (този критерий) при прилагането на метода „Виждане през слоеве“ и още няколко признака може да се извършва едно прецизно сортиране на картофи според вътрешното им качество.

3.2.5 Алгоритми за разпознаване на вътрешното качество (методи на Бейс и KNN)

Методът STL е приложен в два алгоритъма за разпознаване - по Бейс и KNN. Последните са избрани с оглед на това, че те са най-известни и биха могли да дадат най-точна и ясна представа за метода STL.

3.2.6 Алгоритъм за класифициране и вземане на крайно решение

Алгоритъмът за класификация включва два отделни класификатора – по степен на дефектност (D) и по степен на позеленяване (G).

С помощта на итеративна процедура са подбрани броят и съчетанието на множество признаци $\{X_j\}_i^{D,A}$, $\{X_j\}_i^{D,B}$ и $\{X_j\}_i^G$, съответно за канал А, канал В на V-камерата и за класификатора по степен на позеленяване (i е номер на класа, а j – номер на признака).

3.2.7 Изпитания и точност на класифициране

Изпитанията на системата NIQT01LAB са извършени в продължение на два месеца. За тях са използвани клубени от търговската мрежа с естествена вариабилност на качеството най-често от първи клас (C1) и втори клас (C2). Бяха доставени и малки количества клубени с по-значими дефекти (C3).

Точност на класифициране

а) Приети означения

- i, j – номер на класа C ($i = 1, 2, \dots, n$), ($j = 1, 2, \dots, n$), $i \neq j$;
- n – брой на класовете;
- $m_{i \rightarrow i}$ – брой на обектите от клас C_i безпогрешно сортирани в същия i -тия клас;
- $m_{i \rightarrow j}$ – брой на обектите от i -тия клас, погрешно сортирани в j -тия клас;
- $m_{j \rightarrow i}$ – брой на обектите от j -тия клас, погрешно сортирани в i -тия клас;
- $m_i = \left(m_{i \rightarrow i} + \sum_{j=1}^n m_{i \rightarrow j} \right)$ – брой на обектите, принадлежащи (оценени от експерти) към клас C_i ;

$$M = \sum_{i=1}^n m_i \quad \text{– брой на всички обекти от изследвания комплект;}$$

$$\delta_i = \frac{\sum_{j=1}^n m_{i \rightarrow j}}{m_i} \quad \text{– грешка при разпознаване на обекти от } i\text{-тия клас;}$$

$$\delta_o = \varepsilon_o = \frac{\sum_{i=1}^n m_{i \rightarrow j}}{M} \quad \text{– обща грешка на машината.}$$

Настройка на системата

- Избор на програма за класификация;
- Настройка на коефициентите K и K_R ;
- Настройка на априорните вероятности $P(C_i)$; $i = 1, 2, \dots, n$ – номер на класа C_i (n – брой на класовете).

Исходната стойност на коефициента K е: $K = 1$ (0 db). Повишаването на K води до нарастване броя на обектите в класовете с по-високо качество, т.е. до преминаване на обекти от 3^{-та} във 2^{-ра} фракция и от 2^{-ра} в 1^{-ва} фракция. Намалването на коефициента K предизвиква обратния ефект. Вариацията на K с 1 db води до забележима промяна на качеството в отделните фракции.

Исходната стойност на $K_R = 1$ (0 db). Повишаването на K_R намалява чувствителността на системата към по-прецизна идентификация на позеленяването и обратно.

Исходната стойност на априорните вероятности на класовете C_1, C_2, C_3 е $P(C_i) = \frac{1}{3}$, $\sum_{i=1}^3 P(C_i) = 1$. Повишаването на $P(C_i)$ на класа C_i предизвиква повишаване броя на обектите в i -тия клас за сметка на съседните класове C_{i-1} и C_{i+1} .

Софтуерът предлага няколко предварително дефинирани настройки за работа на оптоелектронната система NIQAT01LAB - за сортиране на:

- ранни картофи – прибрани през пролетно-летния сезон;
- картофи, прибрани през есенния сезон, съхранявани до 4 месеца;
- картофи, съхранявани 4-8 месеца.

Операторът има възможност да задава и записва собствени конфигурации от настройки, с помощта на които да улесни процеса за настройка.

3.2.8 Класифициране на сканираните клубени

Бяха извършени множество експерименти със софтуера при селекцията на признаците – техният брой и съчетанието им за всяка група $\{X_j\}_i$. Бяха анализирани хистограмите и съответните им теоретични разпределения на плътностите на вероятностите по Гаус и Вейбул. Беше установено, че в много случаи те се пресичат в повече от една точка. Това обуславя силно припокриване на класовете и се дължи както на близките средни стойности (особено между C_1 и C_2), така и на голямата дисперсия. Оттук и признаци със силна разпознаваща способност, имаха неголеми стойности на критерия на Фишер за едномерна разделимост на класовете. Анализът показва, че причината за това е в експертната референтна класификация, която разделя клубените на 3 класа, изключвайки реално съществуващия четвърти клас C_4 – брак. Това е клас на напълно дефектни клубени, които не могат да бъдат използвани нито за биопродукти (храна за животни), нито за производство на спирт. Така „диапазонът на качеството“ беше сензорно стеснен.

Чрез вариране на дисперсията е създаден алгоритъм и програма за автоматично отстраняване на възможността съседни разпределения на плътността на вероятностите $P(X_j / C_i)$ да се пресичат в повече от една точка.

Работата върху обучението на PC-NIQAT показва, че тази процедура подобри точността на класификацията и настройката на границите между класовете и на тежестта на отделните класове. Тази настройка става с помощта на параметрите K , K_R и априорните вероятности $P(C_i)$.

В резултат на множеството итерации бяха избрани няколко информативни групи $\{X_j\}_i$, както следва от Табл. 3.2.

Табл. 3.2 - Класификация по метода на Бейс

Канал	Признаци $\{X_j\}_i$	$\delta_1, \%$	$\delta_2, \%$	$\delta_3, \%$	$\delta_0, \%$
A	X1, X90B, X56N, X43, X59, XR10	2,80	17,2	17,1	6,12
A	X1, X90B, X43, X59, X11N, XR10	3,27	17,2	15,7	6,29
A	X1, X3, X57N, X90B, X59, X27B, X11, XR10	3,74	15,5	17,1	6,65
A	X1, X3, X90B, X56N, X59, X101	4,44	10,3	17,1	6,65
A	X1, X57N, X90B, X56N, X43, X59, X101	4,91	23,4	17,1	8,36
B	X1, X57N, X90B, X56N, X43, X59, X101	3,50	15,5	18,4	6,76
A, B	X1, X57N, X90B, X56N, X43, X59, X101	6,07	12,1	14,5	7,83
A, B	Сортиране на два класа (C_1+C_2), C_3	6,07	13,04	-	6,01

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ са грешки на отделните класове, %;

$\delta_0, \%$ - обща грешка на класификацията.

Априорни вероятности $P(C_i) = 1/3$, $K = 1 \rightarrow 0$ [db]

Грешките при класификацията на три класа с KNN-метода с една и съща група признаци на необелени, виртуално обелени и физически обелени клубени, са показани в Табл. 3.3. Преобладаващи в комплекта бяха клубените от първи клас (C_1 - 426 бр., C_2 - 60 бр., C_3 - 76 бр.).

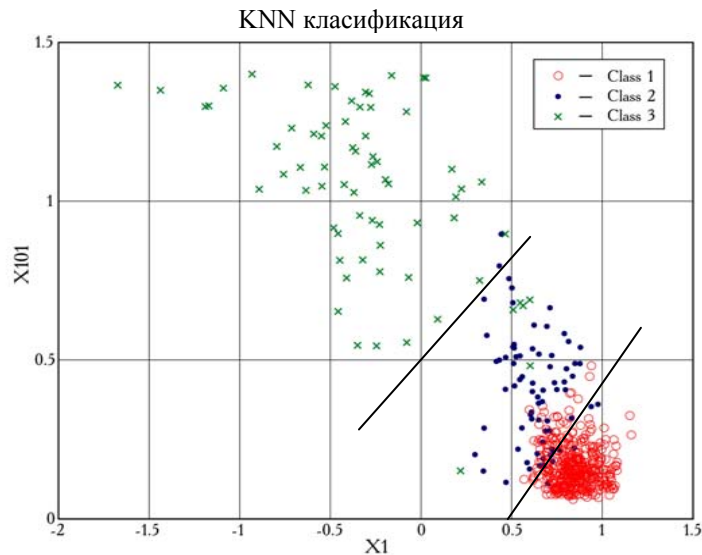
Табл. 3.3 - Класификация по KNN метода

Класове	Символ на грешката	Статус на клубените		
		необелени	Виртуално обелени	Физически обелени
C1	$\delta_1, \%$	6,34	4,23	3,52
C2	$\delta_2, \%$	11,67	15,00	11,67
C3	$\delta_3, \%$	9,21	6,58	9,21
Общо	$\delta_0, \%$	7,30	5,69	5,16

Сравнявайки грешките δ_i при идентифициране на клубени от клас C_1 можем да твърдим, че физическото или виртуалното обелване на кората повишава точността на класификацията на клубени с перфектно вътрешно качество. Същото се отнася и за клубени с влошено вътрешно качество – клас C_3 . Повторяемостта на грешките при необелените и физически обелените клубени за клас C_2 и C_3 се дължи на малкият брой клубени в класовете, при

което: за $C2 \rightarrow$ за необелените клубени $m_{2 \rightarrow 1} + m_{2 \rightarrow 3} = 6 + 1 = 7$, и за физически обелените клубени $m_{2 \rightarrow 1} + m_{2 \rightarrow 3} = 7 + 0 = 7$; при $C3 \rightarrow$ за необелените клубени $m_{3 \rightarrow 1} + m_{3 \rightarrow 2} = 0 + 7 = 7$, и за физически обелените клубени $m_{3 \rightarrow 1} + m_{3 \rightarrow 2} = 1 + 6 = 7$.

По-големите грешки при идентифициране на клубени от втори клас ($C2$), който граничи с класовете $C1$ и $C3$, се обяснява със силно пресичащите се класове в признаковото пространство. Това е типично при субективно (експертно) класифициране на земеделски продукти и изобщо на биологични обекти. Това ясно личи на фигура 3.11, където е показано разпределението на обектите от комплект 1-2002 в двумерното пространство на най-информативните признаци, означени условно с $X1$ и $X101$.



Фиг. 3.11 - Разпределение на обектите в пространството от признаци $X1$ и $X101$

3.3 Изводи

- Проектирани и тествани са двата оптоелектронни модула на фотометричната камера, измерващи отражението при геометрия $R_{0/45}$ и $R_{45/0}$;
- Комплектована в on-line режим е оптоелектронната система (NIQAT01LAB), реализираща метода „Виждане през слоеве“ (STL);
- Създадени са алгоритъм и програма за събиране на данни с V-камерата при обучение на РС в режим on-line;

- В резултат на експериментална работа с представителни комплекти от картофени клубени са избрани модели за определяне на вътрешната оптична плътност на клубените;
- Създаден е еталонен математически модел (OSC) на оптическите плътности на бездефектни клубени OD(L) и $\Delta OD(L)$. Създадени са алгоритъм и програма за оптимизиране на коефициентите на OSC-модела с критерии коефициента на линейна корелация и стандартната грешка;
- Разработени и изпробвани са алгоритъм и програма за коригиране на сигналите от сканиране на картофите при свободното им падане;
- Представена е методика за определяне на информативни за качеството признаци и комплекти от признаци. Установено е, че коефициентът на корелация и стандартната грешка на оптималния OSC-модел, средната стойност на $\Delta OD(L)$, първата и втората производни на реализациите са най-информативни за разпознаване на качеството на картофените клубени;
- Разработен и приложен е алгоритъм за класификация в реално време на продуктите в 4 класа по дефектност;
- Доказано е предимството на метода „Виждане през слоеве“, чрез използване на два вида алгоритми за разпознаване на вътрешното качество – метод на Бейс и метод на K - най-близки съседи.

Глава 4

Изпитване на оптоелектронната системата NIQAT01LAB в условия близки до индустриалната практика

В тази глава са преставени резултати при сортирането на картофи в поток при изпитания в условия, близки до индустриалната практика.

4.1 Изпитание на системата NIQAT01LAB

Изпитанията се провеждаха в NIR лабораторията на НИИКП – Пловдив, при следните основни параметри на системата:

- Скорост на подаващата лента – 1,2 m/s;
- Наклон на подаване - 15 °;
- Наклон на камерата - 57 °;

- Средна скорост на обектите в инспекционната зона – 2 m/s;
- Индикация за класа и броя на сортираните обекти (C1, C2, C3, C4 по дефектност);
- Захранване на подаващата лента – ръчно;
- Приемане на обектите от изхода на системата – ръчно.

Като алгоритъм за разпознаване е използван методът на Бейс.

В таблица 4.1 са показани резултати от сортирането на два комплекта от 146 и 135 клубена.

Табл. 4.1 - Сортирането на два комплекта от 146 и 135 клубена

Настройки, М - брой на пробите	Грешки при сортиране на 3 класа, %				Грешки при сортиране на 2 класа, %		
	δ_1	δ_2	δ_3	δ_0	δ_1	δ_2	δ_0
Компл. 426, норм. М = 146	8,9	22,2	5,5	10,9	3,1	5,5	4,0
Компл. 556, норм. М = 135	10,0	5,7	3,3	7,4	0,0	3,4	0,95
Компл. 556, K=1 $P(C_i) = (0,85; 0,5; 0,10)^i$	9,6	10,0	1,0	3,8	0,97	0,0	0,76

Забележка: „норм.“ означава $K = 1$, $K_R = 1$, $P(C)_i = 1/3$;

Резултатите от експерименти за оперативно регулиране на границите и тежестта на класовете, са представени в таблици 4.2, 4.3.

Табл. 4.2 - Оперативно регулиране на границите

K db	K _R db	Брой на обектите				Σ, бр.	Забележка
		C1	C2	C3	C4		
0	0	76	21	12	5	114	Първи комплект $P(C_i) = \frac{1}{3}$
+3	0	77	23	12	2	114	
-3	0	50	41	15	8	114	
-6	0	7	73	25	9	114	
0	0	84	18	-	-	102	Втори комплект $P(C_i) = \frac{1}{3}$
-3	0	55	40	7	-	102	

Табл. 4.3 - Оперативно регулиране на тежестта на класовете

Априорни вероятности			Брой на обектите				Σ, бр.	Забележка
P(C1)	P(C2)	P(C3)	C1	C2	C3	C4		
0,34	0,33	0,33	74	26	10	4	114	K = 0 db
0,11	0,79	0,10	57	42	10	5	114	K _R = 0 db

На фигури 4.1 - 4.4 са показани сортирани клубени съответно в класове C1, C2, C3, C4.

От таблиците 4.2 и 4.3 е видна добрата възможност за регулиране на процеса на сортиране със системата NIQAT01LAB. Не е показано регулирането на класовете C5 и C6 (степената на позеленяване), но то е аналогично на регулирането по степента на дефектност.

Проведен е експеримент и за установяване повторемостта на резултатите от класификацията. Един и същ случайно избран комплект от 143 проби е класифициран четири пъти. Изчислени са коефициентите на вариация (CV)_i, $i = 1, 2, 3$ – за трите класа: $CV_1 = 5,6\%$; $CV_2 = 3,6\%$; $CV_3 = 2,7\%$.

Анализът показва, че вариациите се дължат както на обектите, оценявани от машината като гранични – C1/C2 и C2/C3, така и на смущаващи фактори:

- некоректно подаване на клубените към инспекционната зона на камерата;
- неправилната форма на клубените.

4.2 Изводи

- Нулевите грешки при сортиране на два класа (таблица 4.1) се обясняват с липсата на обекти с по-значими вътрешни дефекти. В комплекта липсваха типичните вътрешни дефекти, а също и картофи с перфектно качество. Такъв комплект от клубени е подходящ за изследване възможностите за регулиране на границите между фракциите;
- Доказана е възможността софтуерно да се регулират границите между фракциите с помощта на 2 параметъра. Това позволява на потребителя оперативно – без спиране на системата (в поток) – да управлява процеса на сортиране в съответствие с качеството на суровината и изискванията на пазара.



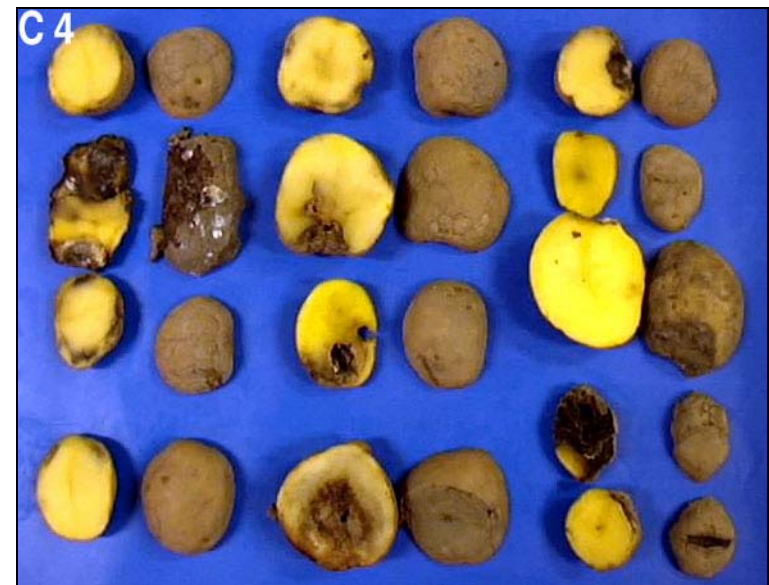
Фиг. 4.1 - Сортирани картофени клубени със системата NIQAT01LAB в клас C1



Фиг. 4.2 - Сортирани картофени клубени със системата NIQAT01LAB в клас C2



Фиг. 4.3 - Сортирани картофени клубени със системата NIQAT01LAB в клас C3

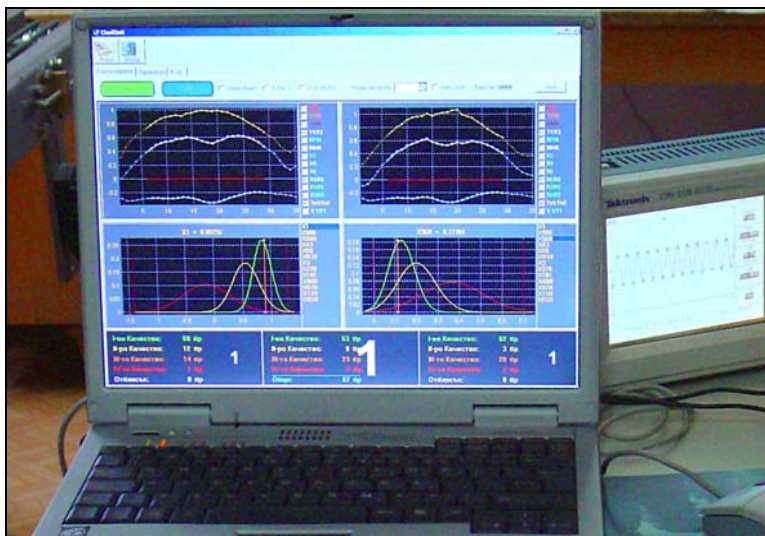


Фиг. 4.4 - Сортирани картофени клубени със системата NIQAT01LAB в клас C4

Реализации на картофени клубени от различно качество

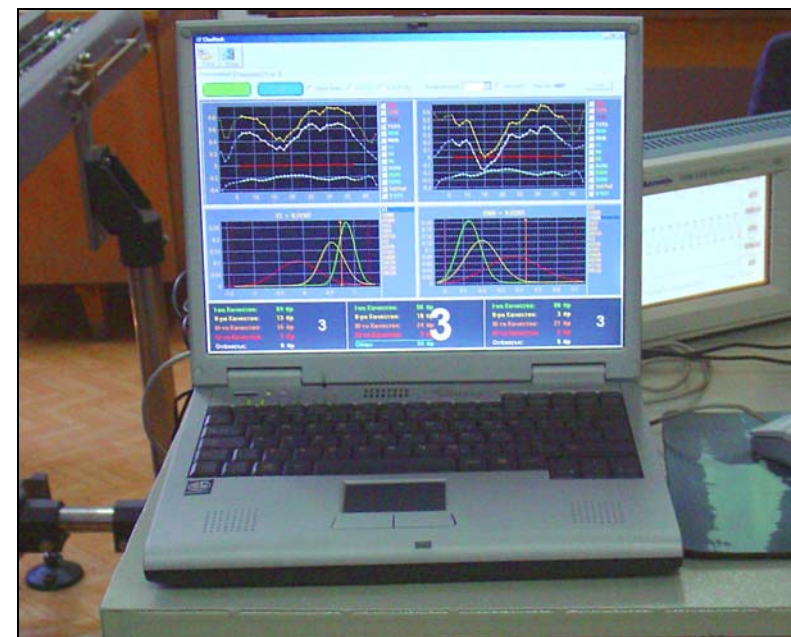


Реализации на картофен клубен от клас C2.



Реализации на картофен клубен от клас C1.

(Показани са графиките за двата канала на системата.
отгоре - Бялата е на необелен клубен, а сивата - виртуално обеления;
отдолу - разпределения на признаците).



Реализации на картофен клубен от клас C3

Основни научно-приложни приноси

1. Установено е, че с метода „Виждане през слоеве“ (STL) се постига по-добро окачествяване на картофите, чрез елиминиране на смущаващото влияние на кората. Информативни спектрални диапазони са: 600-630 nm; 670-710 nm; 830-880 nm и 1070-1090 nm.
2. Предложени и изследвани са еталонни модели, описващи изменението на вътрешните оптичните плътности ($OD(L)$, $\Delta OD(L)$), чрез които с по-висока точност се определят вътрешните болести и дефекти, отколкото само със светлинната пропускливост.
3. Подбрани са комплекти от информативни признаци за класификация на картофите в on-line режим, базиращи се на еталонни модели, средна стойност, първа и втора производна, несиметрична форма на оптичните плътности.
4. Разработен и приложен е алгоритъм за класификация в реално време на продуктите в четири класа по дефектност.
5. Разработен и изпробван е алгоритъм за коригиране на сигналите от сканиране на картофите при свободното им падане.
6. Проектирани и тествани са двата оптоелектронни модула на фотометричната камера, измерваща отражението при геометрия $R_{0/45}$ и $R_{45/0}$. Комплектована е оптоелектронна система (NIQAT01LAB), реализираща метода „Виждане през слоеве“ (STL) в on-line режим.
7. Доказана е възможността софтуерно да се регулират границите между фракциите с помощта на два параметъра. Това позволява на потребителя оперативно - без спиране на системата (в поток) - да управлява процеса на сортиране в съответствие с качеството на суровината и изискванията на пазара.

Насоки за бъдеща работа

1. Има реални възможности да се премине към промишлено производство на оптоелектронната система за on-line сортиране на картофи. Така на преработвателите и на гражданите ще се предлагат продукти с точно дефинирано качество, с което ще се утвърди доверието на потребителите.
2. Освен в on-line сортираща система, камерата NIQAT01LAB може да бъде включена в един бърз NIR анализатор за оценяване на случайно взети проби от търговските партии картофи с цел определяне на предназначението и цената на партидата.
3. Като алгоритъм за класификация в системата също предстои да бъде въведена и обучена невронна мрежа, като се предполага, че резултатите от класифицирането ще са по-добри.
4. Може с основание да се твърди, че по-нататъшни изследвания за приложението на STL-метода за по-прецизно оценяване на вътрешното качество и сортиране на други земеделски продукти – лук, киви, цитрусови плодове, някои сортове круши и др. ще доведат до създаването на NIR-анализатори за окачествяване на продуктите и on-line системи за тяхното по-надеждно сортиране.

Списък на трудовете във връзка с дисертацията

Катранджиев Н., Г. Кривошиев, Модели на вътрешната спектрална пропускливост на картофи за прецизно неразрушаващо разпознаване на вътрешното им качество, X^{-та} юбилейна младежка научно-практическа сесия по случай 110-годишнината на БИАД, ФНТС, Сборник - Доклади, стр. 47-52, Национален дом на науката и техниката - София, 25.03.2003, **с присъдена ГРАМОТА - ТРЕТА НАГРАДА**;

Маслинов И., Н. Катранджиев, Кориждане на сигналите от сканиране на падащи плодове и зеленчуци през фотометрична камера, Научна конференция с международно участие „Хранителна наука, техника и технологии 2004“, Научни трудове УХТ - Пловдив, Том LI, Свитък 4, стр. 391-396, 27-29.10, 2004;

Katrandzhiev N., R. Chalucova, G. Krivoshiev, P. Bozhilov, A. Lyungov, The non-destructive assessment of the potatoes internal quality by using the method „Seeing Through Layers“ STL, „ELECTRONICS - ET 2003“, Sozopol, Bulgaria, p.126-131, September 22-26, 2003, **с присъден СЕРТИФИКАТ за НАЙ-ДОБРО постерно представяне**;

Krivoshiev G., R. Chalucova, P. Bozhilov, A. Lyungov, N. Katrandzhiev, M. Kansakoski, Y. Gegov, V. Slavchev and V. Fidanchev, Conveyor system for the precise determination of internal diseases and defects in potato tubers – NIQAT, European Symposium on Near Infrared Spectroscopy, Kolding, Denmark, Report No. 03-09-02, p.93-100, September 15-17, 2003;

Krivoshiev G., R. Chalucova, N. Katrandzhiev, Assessing internal quality of fruit and vegetables, New food, issue 1, p.23-26, ISSN 1461-4642, UK, 2004;

Krivoshiev G., R. Chalucova, A. Liungov, P. Bozhilov, N. Katrandzhiev, New Technology for Potatoes Sorting, 12th International Diffuse Reflectance Conference (IDRC), Wilson College, Chambersburg, Pennsylvania, USA, August 8-13, 2004;

Благодарности

Изказвам Благодарности на:

- научните си ръководители ст. н. с. II ст. д-р Райна Петрова Чалъкова - Димитрова и доц. д-р инж. Иван Михайлов Маслинов за отзивчивостта и помощта им по време на разработването на дисертационния труд;
- проф. д.т.н. Георги Кривошиев за съветите, идеите и консултациите при разработването на алгоритмите;
- колегите инж. Петър Божилов и инж. Антони Люнгов за съвместната ни работа;
- ст. н. с. II ст. д-р Янко Гегов за навлизането ми в органолептичното оценяване;
- проф. д.т.н. Георги Тасев за съветите му при оформлението на дисертационния труд;
- екипа от НИИКП – Пловдив (сега Институт по криобиология и хранителни технологии) както и на ръководството на Института;
- партньорите по проекта: Campden&Chorleywood Food Research Association - UK, VTT - Finland, Индекс 6 - България;
- ръководството на Университета по хранителни технологии - Пловдив;
- Европейската Комисия за нейната финансова подкрепа, без която проектът не би бил възможен.

Използвани съкращения

clock, Δt	интервал на сканиране
d	средна дължина на светлинната пътека
I, I_x, I_y	падащи светлинни потоци
I_{R1}, I_{R2}, I_{R3}, I_{Rx}, I_{Ry}	отразени светлинни потоци
I_s	поток за синхронизация
I_{T1}, I_{T2}	пропуснати (излъчени) светлинни потоци
L	размер на клубена по дължина; размера по който се сканира клубена
$m_{i \rightarrow i}$	брой на обектите от клас C _i безпогрешно сортирани в същия $i^{тия}$ клас
$m_{i \rightarrow j}$	брой на обектите от $i^{тия}$ клас, погрешно сортирани в $j^{тия}$ клас
$m_{j \rightarrow i}$	брой на обектите от $j^{тия}$ клас, погрешно сортирани в $i^{тия}$ клас
M60T	STL модел само с пропускане
M60XY, M61X, SM60, SM60T	модифицирани STL модели
M6D6R₀, M6D6R₀₂, M61	STL модели с пропускане и отражение
MLR	множествена линейна регресия
NIQAT01LAB	име на оптоелектронната система
NIR	близка инфрачервена област от спектъра (λ : 780 - 2500 nm)
OD	оптична плътност
OD₀	оптична плътност на физически обелен клубен
R_{0/2x45}	измервателна геометрия при отражението - ъгъл на лъча на падане 0°, лъчи на отражение 2x45°
R_A, R_B	коэффициент отчитащ отражението на кората на клубена в точката А или В
R_{OA}, R_{OB}	коэффициент отчитащ отражението на обеления клубен в точката А или В
S	коэффициент на разсейване на кората в точките А и В
SEC	стандартна грешка при калибрация
SEP	стандартна грешка при предсказване
slice, n	брой на сканираните филии
S_{mdc}	грешка при калибрация спрямо диапазона на вариране
SMLR	стъпкова множествена линейна регресия
STL	See Through Layers, Виждане през слоеве
T_{0/2x135}	измервателна геометрия при пропускането - ъгъл на лъча на падане 0°, лъчи на преминаване 2x135°

T_A, T_B	пропускливост на кората на клубена в точката А и В
T_{OA}, T_{OB}, T_O	пропускливост на обеления клубен
VIS	видимата област от спектъра (λ : 380 - 780 nm)
V-камера	оптоелектронен сензор за събиране и преобразуване на информацията необходима за извършване на виртуалното (V) обелване по метода „Виждане през слоеве“
V-модели, STL-модели	математико-статистически модели, с помощта на които се изчислява вътрешната оптическа плътност на клубена
ΔOD	разлика в оптичните плътности при две дължини на вълните за необелен клубен
ΔOD_{Mi}	модел на разлика в оптичните плътности при две дължини на вълните за перфектни клубени (без болести и дефекти и с правилна форма)
ΔOD_{OV}	разлика в оптичните плътности при две дължини на вълните за виртуално обелен клубен (изчислена с STL модел)
ΔOD_0	разлика в оптичните плътности при две дължини на вълните за физически обелен клубен
$\delta_1, \delta_2, \delta_3$	грешки на системата съответно при сортирана на картофени клубени в Клас 1 (1 ^{во} качество), Клас 2, Клас 3
δ_0	обща грешка на системата
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_x, \lambda_y$	работни дължини на вълните

Литература

1. Кривошиев Г., Метод и фотометрична камера за неразрушаващо класифициране и/или сортиране на плодове и зеленчуци според вътрешното им качество независимо от качеството на кората, BG. Pat. 62304, 1998.