



Élelmiszertudományi Kar

**Trikromatikus és hiperspektrális képfeldolgozási
módszerek
élelmiszerek és termények vizsgálatára**

Firtha Ferenc

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Kar
Fizika-Automatika Tanszék**

Budapest, 2008

A doktori iskola

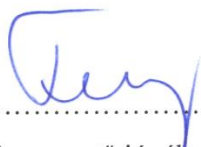
megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Dr. Fodor Péter
tanszékvezető egyetemi tanár, DSc
BCE, Élelmiszertudományi Kar
Alkalmazott Kémia Tanszék

témavezető: Dr. Felföldi József
tanszékvezető egyetemi tanár, PhD
BCE, Élelmiszertudományi Kar
Fizika-Automatika Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.



.....
A témavezető jóváhagyása



.....
Az iskolavezető jóváhagyása

1. Bevezetés

Az 1976-os élelmiszer törvény írta elő a Magyar Élelmiszerkönyv létrehozását az élelmiszerek előállításának részletes szabályozására. Az 1990-es gazdasági-társadalmi eseményekkel a Magyar Élelmiszerkönyv Bizottság feladatként tűzte ki, az Európai Gazdasági Közösség előírásaihoz való igazodást. Az 1994-ben létrehozott és azóta folyamatosan fejlesztett Magyar Élelmiszerkönyv (Codex Alimentarius Hungaricus 1994) három kötete részletes leírást tartalmaz az egyes élelmiszerek minőségi előírásairól, az irányelvekről és a mérési módszerekről.

2004. május 1. után a dokumentum szerepe annyiban változott, hogy az Unió csatlakozás miatt nem vesz át többé EU rendeleteket, mert azok az EU tagság után közvetlenül alkalmazandóak. Így az I. Kötet kötelezően alkalmazandó előírásai közé a magyar fogyasztók és a gazdaság számára különösen fontos termékek követelményei is bekerülhetnek. A piaci elvárások jelentős szigorítása miatt érthető tehát, hogy mind az élelmiszertudományban, mind az iparban, fokozottan megnőtt az igény az élelmiszerek, termények minőségének kvantitatív leírására, mérésére.

Tanszékünkön élelmiszeripari termények, gyümölcsök, zöldségek, gabonafélék fizikai paramétereit vizsgáljuk. A fizikai paraméterek felhasználhatók osztályozási, minőségellenőrzési és automatizálási feladatokban, mérésük általában gyorsabb, mint más, például kémiai összetevők mérése. A megfelelően választott reológiai, elektromos, termodinamikai, vizuális, stb. jellemzők akár együtt, többváltozós statisztikai analízis vagy mesterséges neuronhálók bemenő paramétereként adhatják a megfelelő célfüggvényeket.

A fizikai mérések közül különösen a gyors, roncsolás-mentes, esetleg laboratóriumi körülményeket nem igénylő mérések fontosak, mint amilyen a vizuális paraméterek mérése. A terményeket sok esetben jól jellemzi azok színe, alakja, felülete. A természetes objektumok színét mérhetjük színinger-mérő műszerrel vagy még drágább spektroszkóppal. Ezen eszközök azonban egy adott felületre integrálnak, nem írják le az inhomogenitást és az alakkal, felülettel végekepp nem tudnak mit kezdeni.

A számítógépes látórendszer alkalmas a szín, hely szerinti eloszlásának mérésére. Képfeldolgozó mátrix- illetve soros eszközzel minden egyes képpontra kaphatunk szín információt. Megfelelő méréselrendezéssel és mérésutasítással biztosítható a szükséges jelszint és a mérés stabilitása. Megfelelő képfeldolgozó algoritmusokkal kiválasztható a vizsgálandó objektum, leírható annak színe, felülete és alakja.

Az utóbbi években, a távérzékelésben elterjedt hiperspektrális mérési eszköz már a laboratóriumi munkában is elérhető. Az eszköz alkalmas a látható- vagy infravörös tartományú spektrum hely szerinti eloszlásának mérésére. Mivel a spektrum alapján akár beltartalmi jellemzőkre is lehet következtetni, a módszer jelentős sikereket ígér az ipari automatizálási- és laboratóriumi minőségellenőrzési célfeladatokra használt multispektrális mérések megalapozó kutatásban.

Mindkét mérés-típus speciális ipari- illetve laboratóriumi használatát megelőzi, a vizsgált objektum és tulajdonság kutatása. Ehhez általános és ugyanakkor hangolható mérési környezet szükséges. Dolgozatomban mérés technika tárgyú, módszertani jellegű. E két képfelvételi eszköz, egy trikromatikus jelet adó kamera és spektrális adatokat szolgáltató hiperspektrális eszköz használatának feltételeit vizsgálom meg. Milyen kalibrációs és szoftver algoritmusok szükségesek a trikromatikus- és spektrális képfeldolgozás alkalmazásához élelmiszerek vizsgálatára a kutatásban, minősítésére a laboratóriumban?

A számítógépes képfeldolgozás alkalmazása során szükséges a kutatásban is használható általános és hangolható szegmentációs és alakleíró algoritmusok kidolgozása. A színmérés pedig megköveteli annak vizsgálatát, hogy milyen feltételekkel hasonlítható össze a látórendszerrel és egy színmérővel mérhető eredmény.

A hiperspektrális képfeldolgozás új terület, így alapvető mérés technikai problémákat kell megoldani. A spektroszkópiában szokatlan, nem izolált, görbült felület mérésénél biztosítani kell a megfelelő jel-zaj viszonyt. Ezután, a mért hiperkocka méretét, az alkalmazhatóság érdekében real-time redukálni kell.

2. Célkitűzések

2.1. Trikromatikus rendszer

Élelmiszerek és termények kutatásának mérő-környezetéhez, a hardver eszközök megfelelő futásidejű vezérlésén túl, szükséges általános és jól hangolható szegmentálási algoritmusokat kifejleszteni:

- Homogén színű objektum és háttér (két képpont-osztály) szegmentálására a küszöbölési technika alkalmazható. Módszer kifejlesztése szükséges olyan esetekre, amikor egyszerű intenzitás alapján nem lehet szegmentálni. A küszöb kiválasztására valós-idejű döntési módszert kell fejleszteni és implementálni.
- Inhomogén objektum és háttér (több képpont-osztály) szegmentálására tanulómintás módszer alkalmazható. A klaszterezés olyan tanulómintás algoritmusát kell fejleszteni, amely abban az esetben is működik, amikor az osztályok elemszáma nem összemérhető. Az osztályközéppontoktól való távolság definícióját ki kell terjeszteni a színirányok távolságára.
- Lokális módszerként össze kell hasonlítani a különböző éldetektáló algoritmusok hatékonyságát és meg kell vizsgálni a heurisztikus élnövesztő eljárások alkalmazhatóságát.

Módszereket kell kidolgozni a szegmentálás eredményének zajszűrésére, a körvonal korrekciójára és a objektumok felületi jellemzőinek statisztikai kiértékelésére:

- Eljárás fejlesztése szükséges az egybefüggő tartományok azonosítására és a képpontok szekvenciális listázására, feldolgozására.
- A hibásan szegmentált, zajnak minősíthető tartományokat eliminálni kell, azaz hozzáfűzni az őket körülvevő tartományokhoz.
- Hangolható módszer szükséges a körvonal zajnak tekinthető konvex- és konkáv részleteinek simítására.
- Az objektumok képpontjainak RGB színét vagy előfeldolgozással konvertált más színvektorát statisztikai módszerrel kell jellemezni.

Meg kell vizsgálni a szín látórendszeres mérésének hardveres, algoritmikus és kalibrációs feltételeit:

- Korrekciós algoritmust kell kidolgozni a képen nem észlelhető, de a pixeleken mérhető idő szerint jelentkező zaj csökkentésére.
- Meg kell határozni a mért RGB jel és a CIE XYZ koordináták közötti konverzió kalibrációs feltételeit.
- Mérési módszert kell kidolgozni, amellyel mérhető az objektum kiterjedésének (görbült felület, egyenetlen megvilágítás) hatása a mért RGB jelre.

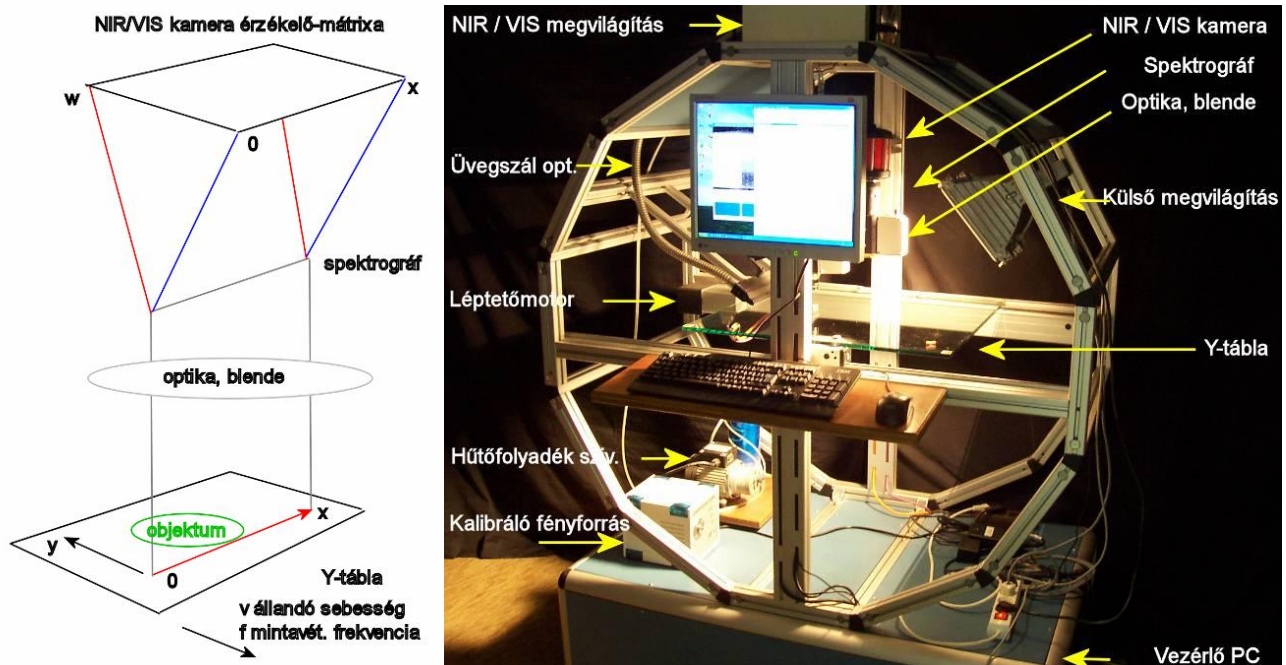
Módszereket kell fejleszteni, az alak általános tulajdonságainak (szimmetriák) leírására, speciális objektumcsoport alakjának leírására és termények morfológiai jellemzésére, azaz a struktúra és részletek leírására:

- Eljárást kell fejleszteni a körvonal pontjainak szekvenciális listázására, a digitális zaj csökkentésére, a körvonal polárkoordinátás, szög szerint ekvidisztans reprezentálására
- Módszert kell fejleszteni az alapvető jellemzők, mint méret, nagytengely, kistengely, orientáció, stb. számítására. A szimmetriák leírása elsősorban automatizálási feladatokban lenne alkalmazható.
- Szakértői rendszerben, egy adott objektum-csoport (pl. hagymafajták) alakját szabványos paraméterekkel írják le. Módszert kell kidolgozni objektum-csoport alakjának speciális leírására, az előírások által megkövetelt paraméterek számítására.
- Termények, levelek általános morfológiai leírására, azaz a struktúra és a részletek kvantitatív jellemzésére, a lényeges töréspontokat kívánom meghatározni és közöttük mesterséges görbével közelíteni a körvonalat. Polár-reprezentáció helyett sok esetben célszerűbb tengelyszimmetrikus topológia alkalmazása. Algoritmust kell kidolgozni a terményeknél gyakori görbült szimmetria-tengely rektifikálására. A kiegyenesített topológiában meghatározhatók a valódi alaki paraméterek.

2.2. Hiperspektrális rendszer célkitűzései

A korábban főként távérzékelésben használt „push-broom” (toló-pásztázó) technika egyszerre a felület egy sorát vizsgálja. A megfelelően megvilágított vonal (x) visszavert fényét optikán és blendén keresztül spektrográf képezi le egy téglalapra, felbontva a fényt hullámhossz komponenseire (1. a. ábra).

A méréseinkhez alkalmazott hiperspektrális hardver (gyártó Zeutec) (1.b. ábra) dolgozatomban bemutatott alkalmazásánál 900 – 1700nm NIR hullámhossz tartományon mértem. NIR konfigurációban, a LuxNir kamera szenzor mátrixára (InGaAs szenzor, 12bit, 320*256, 30*30 μm , 98% pixel-operabilitás) ImSpector N17E spektrográf képezi le egy vonal pixeleinek spektrumát. A NIR konfiguráció Schneider–Kreuznach CINEGON 1.4/8-0512 speciális bevonatú optikát és 0,1% stabilitású halogén megvilágító egységeket (IlluminationTech 3900) alkalmaz.



1. ábra: Push-broom méréselrendezés (a) és az alkalmazott mérőberendezés (b)

A hiperspektrális mérőrendszer fejlesztéséhez szoftveres mérési környezetet kell kifejleszteni, a hardver eszközök vezérlésére, kalibrálására és adatgyűjtésre, a szükséges jelszint, stabilitás és reprodukálhatóság biztosítására, magában foglalva a következőket:

- Stabilizálni kell a NIR szenzor hőmérsékletét a hőmérséklet mérésével és a hőt elvezető Peltier-cella vezérlő értékének automatikus beállításával.
- A NIR (InGaAs) szenzor-mátrix "Salt-and-Pepper" zaját és a működésképtelen pixelek szomszédos pixelre gyakorolt hatását ki kell küszöbölni.
- Kezelní kell a rendszer (megvilágítás, spektrográf, szenzor) spektrális- és hely-szerinti inhomogén érzékenységét.

Egyetlen felület hiperspektrális mérése által nyert (x,y,wavelength) adatkocka (hiperkocka) a szenzor felbontásától függően akár gigabájtnyi lehet. Ekkora adatmennyiség későbbi analízise, az élelmiszerek vizsgálatánál gyakori, nagy mintaszámú mérés esetén, gyakorlatilag kivitelezhetetlen.

- Az algoritmusnak elő-feldolgozással, valós időben kell redukálnia a mért hiperkockát, megfelelő operátorokkal kifejezve a vizsgált jellemzők hely szerinti eloszlását

A rendszer alkalmazásaként megfelelő mérési eljárást és adatredukációs operátort kívánok meghatározni a sárgarépa szövetek nedvesség-tartalmának becslésére száradás közben. Az eredmény egyben bizonyítaná a mérési eljárás és az algoritmus megbízhatóságát, és hasonlóan számított operátor pedig multi-spektrális mérésben használhatnának ipari automatizálási feladatokban.

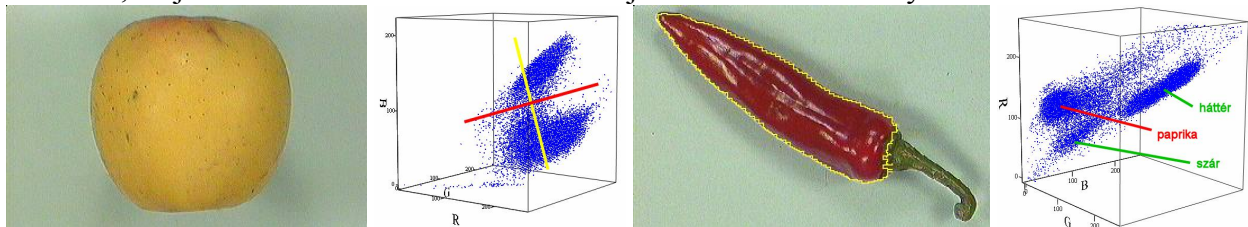
3. Anyag és módszer

3.1. Trikromatikus mérőrendszer fejlesztése

A mérőrendszer vezérlését végző, algoritmusaimat implementáló szoftver (Borland C Builder) a mintavételezett képek alapvető digitális előfeldolgozásán túl (digitális zoom, tükrözés, kontraszt emelése, invertálás, élkiemelés, időbeli változás detektálása) a felület jellemzőinek vizsgálatához valós időben konvertál különböző színrendszerekbe (HSV, normált RGB).

A vizsgált tartományok általános és hangolható szegmentálására fejlesztett két módszerem:

- Két színosztály szegmentálására küszöbölési technikát dolgoztam ki, színt statisztika alapján számítva az objektum és a háttér osztályait optimálisan elválasztó irányt (2. a-b. ábra). Meghatározható számú modust elválasztó küszöbök számítására is eljárást fejlesztettem.
- Több színosztály szétválasztására a klaszterezés tanulómintás algoritmusát fejlesztettem ki. Eljárásomban színeként és színezetként is definiálhatók az osztály-középpontok, az inhomogén megvilágítás okozta intenzitás-beli szórás kezelésére (2. c-d. ábra).
- Szegmentálás után festő-eljárásom dolgozza fel szekvenciálisan a képpontokat, terület alapján csökkenti a szegmentálás zaját, és morfológiai operátor simítja a körvonal konvex vagy konkáv részleteit, majd a színtér kovariancia-mátrixával jellemzem a tartományok színét.



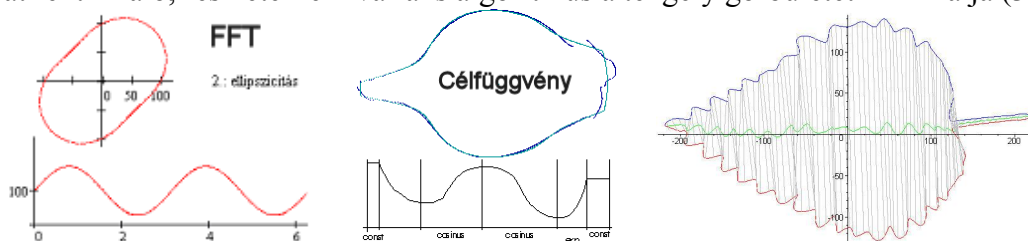
2. ábra: Szegmentálás eredménye színt statisztika (a,b) és klaszterezés (c,d) alapján

A felületjellemzés három példáját vizsgáltam: színmérést, lényegkiemelő színtereket és mintázatot.

- A színmérés stabilitásának biztosítása érdekében, a pixelek idő szerinti szórása okozta zajt, a képsorozat mentés előtti integrálásával tudom jelentősen csökkenteni.
- A színmérés CIE konverzióját mérési környezetem kalibrációs lehetőségekkal segíti. A konverzió további feltétele, az objektumcsoport színterét kifestő, kis szórású etalonok alkalmazása.
- A görbült felület színmérésre gyakorolt hatásának vizsgálatára méréselrendezést készítettem és vezérlő szoftvert fejlesztettem, amivel mérhető a jel beesési- és visszaverődési szögtől való függése.
- A speciális mintázatléírás példaként ismertetem a kenyér porozitását leíró algoritmusaim.

Élelmiszerek és termények alakjának általános és speciális leírására három módszert fejlesztettem ki:

- Általános esetre, a körvonal polár-reprezentációjának Fourier együtthatóival jellemzem a nagy- és kistengelyt, orientációt, háromszög-szerűséget és többed rendű szimmetriákat (3. a. ábra).
- Objektum-csoport (pl. hagymafajták) szakértői rendszer célú, speciális leírását az asszimetriát és az alakot leíró célfüggvényt meghatározó paraméterek LSE számításával végzem (3. b. ábra).
- Termény (pl. levél) morfológiai leírásához lineáris regresszióval határozom meg a strukturális töréspontokat, közöttük köbös spline függvényt illeszttek legkisebb négyzetek módszerrel. A görbült topológiát rektifikáló, részletekre invariáns algoritmus a tengely görbületét minimálja (3. c. ábra).

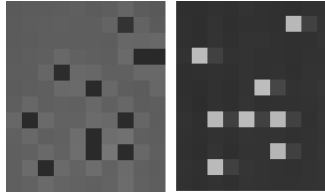


3. ábra: Alakleírás Fourier együtthatókkal (a), célfüggvény illesztésével (b) és rektifikálás (c)

3.2. Hiperspektrális mérési környezet fejlesztése

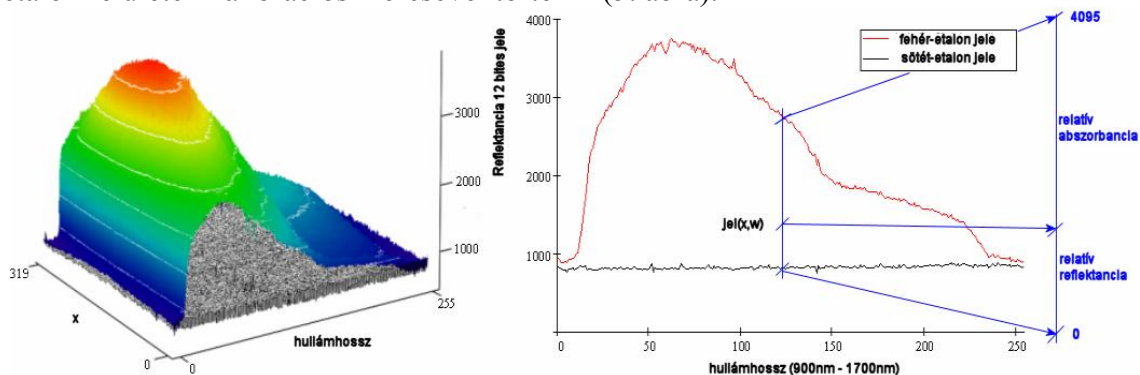
A mérőrendszer algoritmikus fejlesztéséhez a 12 bites szenzor és az Y-tábla megfelelő futásidejű, szinkronizált vezérlése mellett, a NIR szenzor hőmérsékletének stabilizálásával kellett biztosítani a megfelelő jel-zaj viszonyt. A szenzor hőtani modelljét figyelembe vevő algoritmust fejlesztettem ki a hűtést végző Peltier-cella automatikus vezérlésére.

A NIR (InGaAs) szenzor egyes pixelai hibásak. A bebukott pixelok hiányzó jele a szomszédos négy pixelen oszlik el, a kiégett pixelektől jobbra exponenciálisan lecsengő világos árnyék tapasztalható (4. ábra). Algoritmussal, kalibráláskor azonosítom a működésképtelen pixelket és mérés közben korrigálom ezen pixelok értékét, valamint a szomszédos pixelokre gyakorolt hatást.



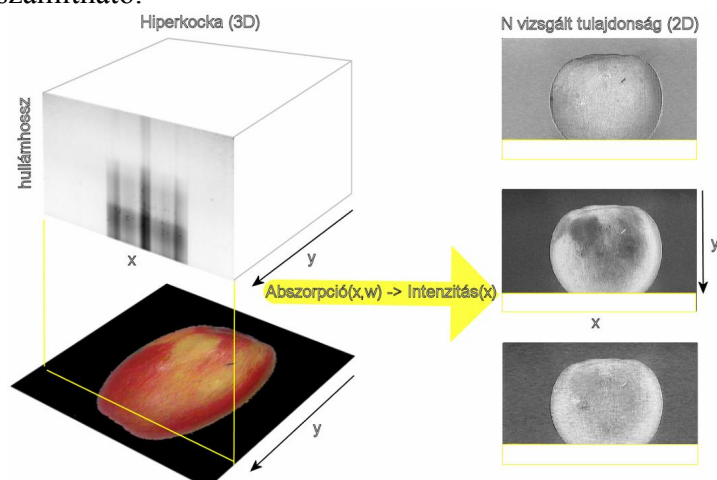
4. ábra: Bebukott (sötét) és kiégett (világos) pixelok és a szomszédokra gyakorolt hatásuk

Algoritmusom vezérli a kalibrálás folyamatát, segíti a megfelelő jelszint (megvilágítás, optika, AD paraméterek) beállítását. Az inhomogén spektrális- és hely szerinti érzékenység kezelése, sötét és világos etalon felületek kalibrációs mérésével történik (5. ábra).



5. ábra: Inhomogén érzékenység kezelése etalon felületek mérésével

A mért hiperkocka valós idejű redukcióját, a szoftver a vizsgált jellemzők intenzitásának hely szerinti eloszlásának kiemelésével végzi. Élelmiszerek akár több spektrális jellemzőjének felületi eloszlása vizsgálható egyszerre (6. ábra). A spektrumból (vektor) intenzitásra (skalár) leképező adatredukciós, lényegkiemelő operátor az objektum-csoport tanuló-csoportjának mérésével és a mért spektrumok statisztikai analízisével számítható.



6. ábra: Real-time lényegkiemelés (adatredukció) illusztrációja

4. Eredmények

4.1. Trikromatikus rendszer alkalmazásai

A képfeldolgozási módszerek hatékonysága általánosan nem, csak speciális esetre értékelhető. A bemutatott szegmentálási, felület- és alakjellemzési algoritmusaim implementáló, élelmiszerek és termények kutatására fejlesztett mérőkönyvezet adatredukciós lehetőségeit számos sikeres alkalmazás módszereimet referáló publikációja igazolja. Segítségével az adott objektum-típust kutató szakember képfeldolgozó ismeretek nélkül nyerhet szint, mintázatot és alakot leíró paramétereket, amely adatok statisztikai analízisével jellemezheti a vizsgált vizuális jellemzőt.

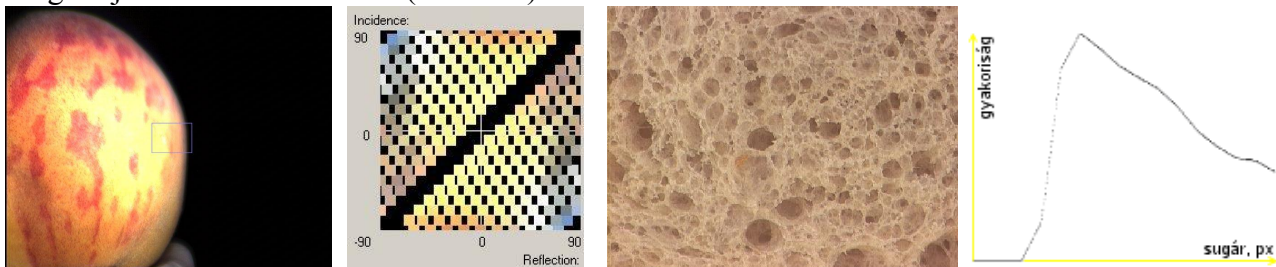
Szegmentálásra fejlesztett általános küszöbölési módszeremmel példaként akár fekete-fehér objektum kiválasztható, vagy szántóföldi növény azonosítása lehetséges "in vivo" körülmények között (7. ábra). Hangolható klaszterezési eljárásommal tetszőleges tartomány, pl. termény sérülései is kiválaszthatók.



7. ábra: Szegmentálás fekete-fehér objektumra és „in vivo” alkalmazásra

A mérőkönyvezet és a kalibrációs eljárás biztosítja a stabilitást, a megfelelő jel-zaj viszonyt és lehetővé teszi a mért RGB jel transzformációját CIE színtérbe. Speciális méréselrendezéssel és a vezérlő szoftverrel mérhető különböző objektum-típusok reflexiók tulajdonságai is (8. a. ábra).

A mérőkönyvezet valós időben konvertál felületi jellemzőket kiemelő színterekbe, de a mintázat leírása csak speciális algoritmusokkal lehetséges. Ennek példája a kenyér porozitását a lyukak sugarának hisztogramjával leíró módszerem (8.b. ábra).



8. ábra: Dió reflexiók tulajdonságai (a). Porozitás jellemzése sugár hisztogramjával (b).

Konvex alak általános adatredukciójára alkalmazott Fourier transzformáció az alapvető paraméterek, orientáció és szimmetriák meghatározása mellett (9. a. ábra) elsősorban osztályozási feladatokra alkalmazható.

Az alak célfüggvénnyel való közelítését szakértői rendszer használhatja, például terménytípus (hagyma) fajtaazonosítására (9. b. ábra).

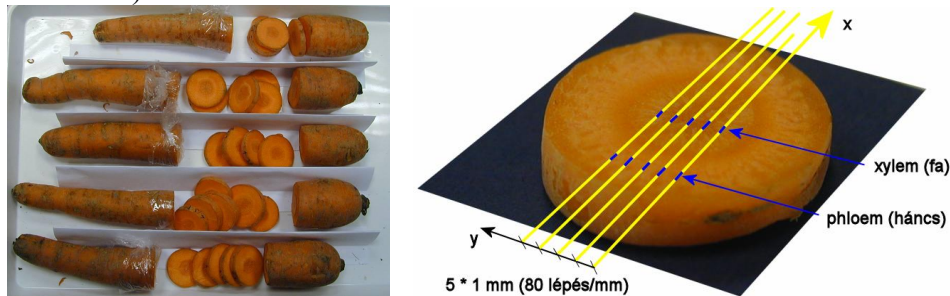
A struktúra töréspontokkal és spline közelítéssel való meghatározásának módszere futó kutatások tárgya.



9. ábra: Szimmetriák leírása (a). Hagyma és a célfüggvény paramétereiből rekonstruált 3D alak (b).

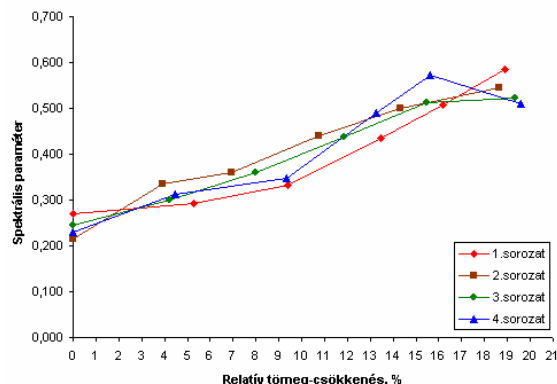
4.2. Hiperspektrális rendszer minta-alkalmazása

A fejlesztett mérési környezet és kalibrációs eljárás által biztosított jelszint stabilitását minta-alkalmazással bizonyítom. Sárgarépa szeletek szöveteinek (fa: xylem és háncs: phloem) száradási idő szerinti spektrális változásából határoztam meg a mintacsoportra optimális lényegkiemelő operátort, ezzel illusztrálva adatredukciós módszerem. A szeletek oxidáció okozta homogén sötétedését, a roncsolt szövetek kiszáradása miatti világosodását a mérési eljárás kiküszöbölte, a szárítás és mérés feltételeit kondicionálta (10. a. ábra).



10. ábra: Középső harmad friss vágásfelületeinek mérése (a), vizsgált tartományok kijelölése (b)

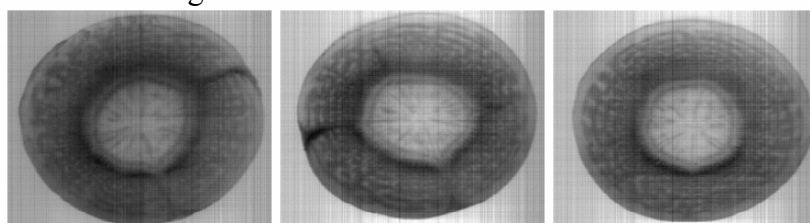
A vonalak mentén mért Intenzitás(x,w) mátrixain MathCad algoritmusok választották ki a vizsgált szövettípusok pixeleinek spektrumait, előfeldolgozva és kigyűjtve a spektrumokat, szövettípus és száradási idő szerint csoportosítva. A mérési eljárás alapján látványos spektrális különbség mérhető mind szövettípus, mind szárítási idő szerint. Az eredményeket összehasonlítva a nedvességtartalom regisztrált változásával látható, hogy a száradási időt leíró spektrális (adatredukciós) paraméter a relatív tömegcsökkenéssel is monoton változik (11. ábra).



11. ábra: Spektrális paraméter és a relatív nedvességtartalom csökkenésének kapcsolata 4 mérésciklusra

A következőkben a multispektrális alkalmazások kutatásához is szükséges szignifikáns hullámhosszakat határoztam meg. Diszkriminancia analízissel (DA) bizonyítottam, hogy a szövettípus és a száradási idő is osztályozható spektrum alapján. Majd PLS-1 regressziós együtthatók alapján határoztam meg a szövettípusokat és a száradási időt leíró szignifikáns hullámhosszakat.

Módszeremmel a tanuló-csoport analízise alapján meghatározható a populációra optimális adatredukciós operátor. Az operátorral ezután mérhető a teszt-csoporton a vizsgált jellemzők felületi eloszlása. A fejlesztett mérőrendszer segítségével mentett képek (intenzitás pszeudo-image) később a hagyományos képfeldolgozási módszerekkel vizsgálhatók.



12. ábra: Fa szövet (xylem) száradását leíró operátorral nyert pszeudo-képek három száradási időre

5. Új tudományos eredmények összefoglalása (tézisek)

1. Módszereket és az algoritmusokat implementáló szoftvert dolgoztam ki élelmiszerek és nyersanyagaik vizuális paramétereinek kutatásához, első lépésben a vizsgált objektumok általános és hangolható szegmentálására:
 - Két színosztályt tartalmazó képek (pl. termény és háttér) szegmentációját az algoritmus, az intenzitás hisztogramjának küszöbértékével végzi. A hatékonyság javítására, színt statisztika alapján, automatikusan számítja ki az RGB térben optimálisan szétválasztó irányt. A szürkekonverziót meghatározó színirány a képek elemzése alapján manuálisan is beállítható. Az eljárás akár kettőnél több, nem Gauss eloszlású modusra számítja a küszöbértéket.
 - Összetett színű objektumok tartományainak (pl. paprika csoma nélküli termésének, gyümölcs adott színnel fedett tartományainak, termény felületi sérüléseinek, betegségeinek) szegmentációjára a klaszter-analízis egy tanulómintás változatát dolgoztam ki és implementáltam. A módszer adott szín és adott színezet kiválasztására is alkalmas.
 - Az algoritmus az egybefüggő tartományok képpontjait festő eljárással, szekvenciálisan dolgozza fel, a hibásan szegmentált tartományokat korrigálja, majd simítja a körvonal zajnak minősíthető konvex ill. konkáv részleteit.
2. Módszert dolgoztam ki a szegmentált objektumok felületének statisztikai jellemzésére (szín vagy vizsgált tulajdonságot kiemelő jellemző kovariancia-mátrixával), valamint meghatároztam a mért szín-koordináták szabvány színrendszerbe való konverziójának mérés technikai feltételeit:
 - Algoritmust dolgoztam ki a szenzor zajának csökkentésére és a képen, lényegkiemelő operátorok valós idejű végrehajtására.
 - A szín-konverzióhoz szükséges kalibrációs eljárást határoztam meg, valamint a kalibrációhoz használt etalonok iránti elvárásokat.
 - Méréselrendezéssel és a vezérlő szoftverrel mérhető az objektum térbeli kiterjedésének, a felület görbületének hatása, azaz a mért jel függése a beesési és visszaverődési szögtől.
3. Módszereket dolgoztam ki élelmiszerek és termények alakjának általános (automatizálási célú), speciális (szakértői rendszer célú) és morfológiai (struktúra, részletek és görbület) leírására:
 - Konvex objektum alakját általánosan, a körvonal (konvex burok) súlyponthoz számított polárkoordinátáinak Fourier-transzformáltjával írom le. Az együtthatók jellemzik az alak szimmetrikus, strukturális tulajdonságait (pl. nagy- és kistengely, orientáció) és a periodikus, harmonikus részleteket is. A módszer automatizálási és szakértői célokra is alkalmazható.

- Objektum-specifikus módszert dolgoztam ki adott objektumtípus (pl. hagymafajták) alakjának szakértői rendszerben használható jellemzésére. Algoritmussal az alak, az objektumcsoportra alkalmazott célfüggvény paramétereinek legkisebb négyzetek módszerével történő illesztésével jellemezhető.
 - Objektum alakjának nem periodikus és nem harmonikus részleteit (pl. levelek recézettségét) a görbület és a töréspontok meghatározásával írom le. Módszert dolgoztam ki, a kis felbontás okozta digitális zaj csökkentésére. (Levelek szántóföldi azonosítása történhet ez alapján.)
 - Objektum (pl. levelek) alakjának morfológiai jellemzését, a körvonal alapvető töréspontjainak meghatározásával és a szegmensekre illesztett regresszióval (inverz Fourier, köbös spline) végzem. A módszerrel egyszerűbb struktúrájú levél alakja alig pár paraméterrel leírható.
 - Algoritmust dolgoztam ki a növényeknél (levél, termés, gyökér, stb.) gyakran előforduló görbült szimmetriatengely rektifikálására. Az így kapott ortogonális topológiában meghatározhatók az alakot jellemző paraméterek (pl. nagytengely, kistengely hossza, stb.) valódi értéke.
4. Módszert és az algoritmusokat implementáló szoftvert dolgoztam ki élelmiszerek és nyersanyagaik hiperspektrális jellemzőinek laboratóriumi mérésére, spektrális jellemzők valós idejű kiemelésére, multispektrális célalkalmazások operátorainak kutatására:
- Algoritmussal a szenzor hőmérsékletének szabályozásával, az InGaAs mátrix pixelzajának korrekciójával, az inhomogén érzékenység kezelésével és a kalibrációs eljárás vezérlésével megfelelő jel-zaj viszonyt és stabil jelszintet biztosít. A mért spektrumok, a nem izolált környezet és az egyenetlen felület ellenére egyeznek a spektrofotométerrel ellenőrzött értékekkel.
 - Adatredukciós módszert dolgoztam ki a vizsgált tulajdonságok felületi eloszlásának valós idejű detektálására. Tanuló-csoport előzetes mérésének statisztikai analízisével határoztam meg a vizsgált tulajdonságok operátorait. A módszerrel, előfeldolgozással lényegesen redukálható a mért adatmennyiség. A nyert, intenzitást kifejező pseudo-képek később a hagyományos képfeldolgozási algoritmusokkal vizsgálhatók.
 - Méréseim alapján a sárgarépa szövettípusai megkülönböztethetők és az egyes szövetek száradási idővel történő változása is detektálható spektrális méréssel. Tanuló-csoport analízisével meghatároztam a szövettípus és nedvesség-tartalom hely szerinti eloszlását leíró adatredukciós operátorokat és szignifikáns hullámhosszakot.

6. Értékezés témakörében megjelent fontosabb publikációk

6.1. Kutatási területek megjelenése szerint:

1994: Alkalmazás gyümölcs színjellemzésére (méréselrendezés, szegmentáció, statisztikai kiértékelés):

- J. Felföldi, F. Firtha & E. Győri (1994) Colour evaluation of fruit aided by PC based vision system - Journal of Food Physics, Vol. LVIII.:pp. 67-74.

1995: Alkalmazások gyümölcs szín-, alakleírására, sérülések detektálására:

- A. Fekete, J. Felföldi, F. Firtha & E. Győri (1995) Fruit shape and colour analysis by image processing - 5th International Conference on Image Processing and its applications, Edinburgh, UK, abstract:p5 + teljes: pp. 1-7.
- J. Felföldi, F. Firtha & E. Győri (1995) Colour analysis of fruits and vegetables aided by PC based vision system - Hungarian Agricultural Engineering, 8/1995, pp. 43-45.
- E. Győri, J. Felföldi & F. Firtha (1995) Fruit bruise assessment by image analysis - 9th World Congress of Food Science and Technology, Budapest, Vol. II. p. 110.

1996: Alkalmazások gyümölcs-, sérülés-, gabona osztályozására:

- A. Fekete, J. Felföldi, F. Firtha & E. Győri (1996) Computer vision for fruit and vegetable quality assessment - ASAE Annual International Meeting, Phoenix, No. 966014, pp. 1-5.
- J. Felföldi, F. Firtha & E. Győri (1996) Machine vision applications to quality characterisation of food products - Acta Alimentaria 1997, Vol. 26 (3), pp. 289-290.
- Baranyai László (1996) Gabonaszemek szín- és alakjellemzőinek összehasonlítása számítógépes képelemzéssel - Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, ÉK, diplomamunka (témavezető: Firtha Ferenc, 1997 OTDK I. hely)

1997: Hagyma-alak speciális leírása, alkalmazás sérülés-, gabona osztályozására:

- F. Firtha (1997) Image analysis by PC – UPOV (International Union for the Protection of New Varieties of Plants), Technical Working Party on Automation and Computer Programs (OMMI), Budapest, ANNEX IV. pp. 1-5.
- Győri Ernő, Firtha Ferenc (1997) Látórendszer alkalmazása gyümölcs belső hibáinak detektálására - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos Konferenciája, Keszthely, oral + Poster:no170 + teljes: pp. 151-155.
- L. Baranyai, F. Firtha (1997) Selection of broken kernels by image analysis - Quality Assessment of Plant Products, No. 3, pp. 1-4. (ISBN 80-213-0339-5)

1998: Levelek, termények morfológiai vizsgálata, alkalmazás sérülés-, neuron-hálós osztályozásra:

- F. Firtha (1998) Studying Image Processing Methods - 4th Seminar on Energy and Environment, GATE, p. 30. (Presentation of the results of research work in Hannover)
- E. Győri, F. Firtha (1998) Detection of Damage of Fruits by Vision System. Proceedings Sensoral, Montpellier, France
- Felföldi József, Firtha Ferenc, Szepes Anett (1998) Neurális hálózatok alkalmazása körtefajták alak- és színtulajdonságainak elkülönítésére - Proc. of Lippay J. & Vas K. International Scientific Symposium, Budapest, előadás + pp. 246-247.

1999: Alakjellemzés módszereinek összefoglalása

- Firtha Ferenc (1999) Számítógépes képfeldolgozás alkalmazása termények jellemzésére - MTA Agrár-Műszaki Bizottság: Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, előadás + poszter

2004: Térbeli kiterjedés színmérésre gyakorolt hatásának vizsgálata

- F. Firtha (2004) Measuring colour distribution and reflectance using PC vision system and controlled stepping motor setup; Representations in different colour spaces – AgEng 2004, Leuven, Belgium, Book of Abstracts (ISBN 90-76019-258) pp. 1014-1015.

2005: Színmérés feltételeinek (stabilitás, kalibrálás) biztosítása:

- Firtha Ferenc, Szedljak Ildikó, Szántainé Kőhegyi Katalin (2005) Színjellemzők mérése különböző típusú dohányfajták fermentációja során - BCE, Lippay-Ormos-Vas, Budapest, poster + abstract: pp. 254-255.

2006: Görbület rektifikálása, hiperspektrális képfeldolgozó rendszer fejlesztése:

- S. Barton, F. Firtha (2006) Generalized symmetry and rectification of 2D objects – V. International Mathematical Workshop, Technical University in Brno, pp 1-25 (ISBN 80-214-3282-9)
- Firtha Ferenc (2006) Hiperspektrális képfeldolgozó mérési módszer és alkalmazásai - MTA Agrár-Műszaki Bizottság: XXX. Jubileumi Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, poster:no078 + CD: II. kötet pp. 146-150.
- F. Firtha (2006) Hyper-spectral image processing method for real-time measurement of features - EurAgEng 2006, Bonn: Agricultural Engineering for a Better World, oral no 872, fulltext no. 440119580625 (ISBN 3-18-091958-2).
- F. Firtha (2006) Controlling and Calibration of Hyper-spectral measurement - Journal of Food Physics, Vol. XVII-XVIII (ISSN 1416 - 2083), pp. 13-28.

2007: HSI adatredukciós algoritmus, sárgarépa alkalmazás, mérés stabilitásának növelése

- F. Firtha (2007) Development of Data Reduction Function for Hyperspectral Imaging - Progress in Agricultural Engineering Sciences, Volume III., pp. 67-88. (ISSN 1786-335X)
- T. Kaszab, F. Firtha, A. Fekete, B. Herold, H. Werner, M. Zude, B. Borsa, L. Kovács (2007) Water Content Variations in Carrot Tissue by Hyperspectral Imaging – ASABE, Biological Sensorics: Critical Technologies for Future Biosystem, Minneapolis, Minnesota, oral + fulltext (paper number: 076109) + online available (asae.frymulti.com).
- T. Kaszab, F. Firtha, A. Fekete (2007) Carrot quality assessment by hyperspectral imaging – 3th International Conference TAE 2007, Prague, Czech Rep., Oral + fulltext: pp. 208-211 (ISBN: 978-80-213-1668-3).

2008: Sárgarépa mérések statisztikai kiértékelése

- F. Firtha (2008) Detecting moisture loss of carrot samples during storage by hyperspectral imaging system – Acta Alimentaria, accepted, available online (ISSN 1588-2535)
- F. Firtha, A. Fekete, T. Kaszab, B. Gillay, M. Nogula-Nagy, Z. Kovács, D. B. Kantor (2008) Methods for improving image quality and reducing data load of NIR hyperspectral images. Sensors-Basel 2008, 8 (ISSN 1424-8220), pp. 3287-3298.

6.2. Releváns publikációk az értékelés kategóriái szerint:

6.2.0 Folyóiratcikkek

- J. Felföldi, F. Firtha and E. Győri (1994) Colour evaluation of fruit aided by PC based vision system - Journal of Food Physics, Vol. LVIII.:pp. 67-74.
- J. Felföldi, F. Firtha és E. Győri (1994) Számítógépes látórendszer alkalmazása színkiértékelési feladatokra gyümölcsöknél. - Élelmiszerfizikai Közlemények 58/2: pp. 37-48.
- J. Felföldi, F. Firtha and E. Győri (1995) Colour analysis of fruits and vegetables aided by PC based vision system - Hungarian Agricultural Engineering, 8/1995, pp. 43-45.
- L. Baranyai, F. Firtha (1997) Selection of broken kernels by image analysis – Quality Assessment of Plant Products, Prague, No. 3, pp. 1-4. (ISBN 80-213-0339-5)
- F. Firtha (2006) Controlling and Calibration of Hyper-spectral measurement - Journal of Food Physics, Vol. XVII-XVIII (ISSN 1416 - 2083), pp. 13-28.
- F. Firtha (2007) Development of Data Reduction Function for Hyperspectral Imaging - Progress in Agricultural Engineering Sciences, Volume III., pp. 67-88. (ISSN 1786-335X)
- F. Firtha (2008) Detecting moisture loss of carrot samples during storage by hyperspectral imaging system – Acta Alimentaria, accepted, available online (ISSN 1588-2535)
- F. Firtha, A. Fekete, T. Kaszab, B. Gillay, M. Nogula-Nagy, Z. Kovács, D. B. Kantor (2008) Methods for improving image quality and reducing data load of NIR hyperspectral images. Sensors-Basel 2008, 8 (ISSN 1424-8220), pp. 3287-3298.

6.2.1 Könyv, részlet

- Firtha Ferenc (2006) Digitális képfeldolgozás, hiperspektrális mérési módszer - Minőségsszabályozás az élelmiszeriparban (BCE – Mezőgazda Kiadó, Budapest, ISBN: 963 286 307 0), 10. fejezet
- Firtha Ferenc (2007) Digitális képfeldolgozás, hiperspektrális mérési módszer - Élelmiszer-biztonság és minőség III. Fogyasztóvédelem és élelmiszervizsgálat (Mezőgazda Kiadó, Budapest, ISBN: 978-963-286-386-3, 978-963-286-389-4), 3.9. fejezet

6.2.2 Nemzetközi konferencia (teljes)

- F. Firtha (1991) Aspect of planning Database Manager program for National Cultural Collections - UNDP-EUROPE, UNESCO: GIAM IX. International Conference, Malta, nyitóelőadás
- F. Firtha (1993) Storing and handling physical data of food industrial materials on PC – Acta Alimentaria, Vol. 22 (3), p. 256.
- A. Fekete, J. Felföldi, F. Firtha & E. Győri (1995) Fruit shape and colour analysis by image processing - 5th International Conference on Image Processing and its applications, Edinburgh, UK, pp. 1-7.
- A. Fekete, J. Felföldi, F. Firtha & E. Győri (1996) Computer vision for fruit and vegetable quality assessment - ASAE Annual International Meeting, Phoenix, No. 966014, pp. 1-5.
- F. Firtha (1997) Image analysis by PC – UPOV (International Union for the Protection of New Varieties of Plants), Technical Working Party on Automation and Computer Programs (OMMI), Budapest, oral + ANNEX IV. pp. 1-5.
- E. Győri, F. Firtha (1998) Detection of Damage of Fruits by Vision System. Proceedings Sensoral, Montpellier, France
- F. Firtha (2005) PC controlled Vision System for Measuring Colour Distribution and Transmission of Spatial Objects - Slovak Univ. Of Agriculture: "Research and Teaching of Physics" International Scientific Conference, Nitra, poster+fulltext (ISBN: 80-8069-528-8)

- F. Firtha (2006) Hyper-spectral image processing method for real-time measurement of features - EurAgEng 2006, Bonn: Agricultural Engineering for a Better World, oral no 872, fulltext no. 440119580625 (ISBN 3-18-091958-2)
- F. Firtha, A. Fekete, T. Kaszab, P. Takács, B. Herold, W. Herppich, B. Borsa & L. Kovács (2006) Analysis of Carrot Drying by Hyperspectral Imaging - EurAgEng 2006, Bonn: Agricultural Engineering for a Better World, poster no 926, fulltext no. 440119580699 (ISBN 3-18-091958-2)
- S. Barton, F. Firtha (2006) Generalized symmetry and rectification of 2D objects – V. International Mathematical Workshop, Technical University in Brno, pp 1-25 (ISBN 80-214-3282-9)
- T. Kaszab, F. Firtha, A. Fekete, B. Herold, H. Werner, M. Zude, B. Borsa & L. Kovács (2007) Water Content Variations in Carrot Tissue by Hyperspectral Imaging – ASABE, Biological Sensorics: Critical Technologies for Future Biosystem, Minneapolis, Minnesota, oral + fulltext (paper number: 076109) + online available (asae.frymulti.com)
- T. Kaszab, F. Firtha, A. Fekete (2007) Carrot quality assessment by hyperspectral imaging – 3th International Conference TAE 2007, Prague, Czech Rep., Oral + fulltext: pp. 208-211 (ISBN: 978-80-213-1668-3)

6.2.3 Magyar nyelvű konferencia (teljes)

- Firtha Ferenc (1992) Élelmiszeripari anyagok fizikai paramétereinek tárolása számítógépen, saját fejlesztésű általános adatbáziskezelő, programgenerátor leírása - Proc. of Lippay J. & Vas K. International Scientific Symposium, Horticultural Engineering Sect., Budapest, pp. 320-322.
- Felföldi József, Firtha Ferenc, Győri Ernő (1996) Számítógépes látórendszer alkalmazása élelmiszeripari nyersanyagok és termékek minőségjellemzéséhez - Proc. of Lippay J. & Vas K. International Scientific Symposium, Budapest, konferencia kiadvány
- Baranyai László, Firtha Ferenc (1997) Gabonaszemek szín- és alakjellemzőinek összehasonlítása számítógépes látórendszer felhasználásával - MTA Agrár-Műszaki Bizottság: Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, p. 37. (1997/II. pp. 274-278.)
- Győri Ernő, Firtha Ferenc (1997) Látórendszer alkalmazása gyümölcs belső hibáinak detektálására (Application of Vision System to Detecting Internal Damage of Fruits) - Magyar Képfeldolgozók és Alakfelismerők Országos Konferenciája, Keszthely, konferencia-kiadvány: pp. 151-155.
- Firtha Ferenc (1999) Számítógépes képfeldolgozás alkalmazása termények jellemzésére (Application of Image Processing for description of crops) - MTA Agrár-Műszaki Bizottság: Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, előadás + poszter + 5 pages
- Firtha Ferenc (2006) Hiperspektrális képfeldolgozó mérési módszer és alkalmazásai - MTA Agrár-Műszaki Bizottság: XXX. Jubileumi Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, konferencia-kiadvány+CD: II. kötet pp. 146-150 (078)
- Firtha Ferenc, Fekete András, Kaszab Tímea, Takács Péter, Bernd Herold, Herppich Werner, Borsa Béla, Kovács László (2006) Sárgarépa száradási folyamatának elemzése hiperspektrális képfeldolgozással - MTA Agrár-Műszaki Bizottság: XXX. Jubileumi Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, konferencia-kiadvány + fulltext CD: I. kötet pp. 53-59 (011)
- Kaszab Tímea, Firtha Ferenc, Fekete András, Takács, Bernd Herold, Herppich Werner, Manuela Zude, Borsa Béla, Kovács László (2007) Sárgarépa nedvességtartalmának becslése hiperspektrális képfeldolgozással - MTA Agrár-Műszaki Bizottság: XXXI. Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, konferencia-kiadvány + fulltext CD: 2. kötet pp. 84-88 (P50)
- Kaszab Tímea, Firtha Ferenc, Fekete András (2008) Sárgarépa minőségi jellemzőinek mérése mechanikai és NIR eljárásokkal - MTA Agrár-Műszaki Bizottság: XXXII. Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, I. kötet, pp. 96-100. (ISBN: 978-963 611 451 0ö, 978-963 611 452 7)
- Noguláné Nagy Médea, Firtha Ferenc, Baranyai László, Meretei Anikó, Jasmina Lukinac (2008) Kenyérből porozításának becslése látórendszerrel - MTA Agrár-Műszaki Bizottság: XXXII. Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, II. kötet, pp. 109-113. (ISBN: 978-963 611 451 0ö, 978-963 611 453 4)