

Doktori értekezés tézisei

Összefüggés szemes termények számítógéppel meghatározott vizuális jellemzői között

Baranyai László

Doktori értekezés
2001

1. Bevezetés

A számítógépek megjelenésével szinte egyidőben ismerték fel a lehetőségét a digitális képek gépi úton történő elemzésének. A digitális képfeldolgozás elsőként olyan jól körülhatárolt osztályokat vizsgált, mint a szövegek, fényképek és rajzok, molekulák mozgásának útvonala vagy légi felvételek. Az 1960-as években megkezdődött az általános algoritmusok fejlesztése, paradigmák megfogalmazása. Amikor a mesterséges intelligenciával foglalkozó szakemberek a robotok látásával kezdtek foglalkozni, a meglévő paradigmákat kiterjesztették a háromdimenziós tér információinak feldolgozásához (előbb egyszerű képeket, majd egy mozgó kamera által szolgáltatott fénykép sorozatokat elemezve). Ettől kezdve tekinthetjük a digitális képfeldolgozást gépi látásnak, illetve a valós tér elemzésének. Létjogosultságát támasztja alá, hogy az állatvilág és maga az ember is igen hatékonyan használja fel a vizuális információkat. Ezt a hatékonyságot valószínűleg a biológiai rendszerek redundanciája miatt érhetjük el. A számítógépek – a költségek csökkentése érdekében – kerülnek a redundáns feldolgozást. A digitális képfeldolgozás elmúlt ötven évének eredménye sok nagyszerű matematikai modell és algoritmus. A valódi világ testeiben azonban nem írhatók le tökéletesen matematikai vagy valószínűségi modellekkel. A tökéletlen modellek viszont nem azt jelentik, hogy a gépi látás nem működhet megfelelően. Valójában nagyon sok területen fejlesztettek és alkalmaztak sikeres képfeldolgozó rendszereket, dacára a durva közelítéseknek és az esetleges módszereknek (A. Rosenfeld, 2000).

A gabona on-line megfigyelése iránt egyre növekvő érdeklődés figyelhető meg az iparban. A minta gyors értékelése nagy segítség optimális tisztítási stratégia tervezésében, döntések előkészítésében és bizonyos folyamatok teljes automatizálásában. Egy ilyen rendszer növelheti a kihozatalt és csökkentheti a fel nem használt ép szemek mennyiségét. A gabona minta igen sok magvat és számos szennyező anyagot is tartalmazhat. A számítógépes látórendszer feladata a fontos kultúrmagvak elkülönítése az egyéb anyagoktól. A gabonaipari tisztítási folyamatok automatizálása szempontjából fontos az elsődleges gabona azonosítása, a kis és nagy méretű szemek arányának meghatározása (Shatadal *et.al.*, 1995). Ezen túl a betakarító gépek hatékonyságának egyik fontos paramétere – a betakarított mennyiségen kívül – a sérült, törött szemek aránya (Schneider, Häußler, Kutzbach, 1997). Az említett minőségi jellemzőket általában kézi válogatással határozzák meg. Ez a vizsgálat időigényes és jól képzett szakembereket – értékes munkaerőt – köt le. A digitális képfeldolgozás objektív, roncsolásmentes módszer olyan tulajdonságok mérésére, mint az alak, méret, szín és a felszín mintázata. Lehetővé teszi a mérendő jellemzők pontos, számszerű leírását. A hazai és nemzetközi szabványok elfogadott gabonaminősítő módszere a kézi válogatás. A gépi látás által nyújtott extra támogatás fontos és hasznos segítség lehet a keveréktartalom meghatározása során.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Szabványok

Idegen anyagok vizsgálatának módszereit az MSZ 6354/1-2 és MSZ 6367-2 szabványok határozzák meg Magyarországon. A vizsgálat kézi válogatással történik. Segítségül tetszőleges osztályozó berendezés felhasználható (rosta, szélszekrény). A minőségi bizonyítvány tartalmazza a minta tömegét, a mintában található fajták nevét és a magvak számát. Két párhuzamos vizsgálatot kell végezni. A szabvány meghatározza azt a maximális eltérést, amely a párhuzamos vizsgálatok eredményei között megengedhető. A határértékeket a humán vizsgálatok várható hibájának figyelembe vételével számították ki. Az 1. táblázat bemutatja a javító és ipari minőségű búza valamint a durum búza minőségi követelményeit.

1. táblázat: MSZ 6383 szabvány szerinti minőségi követelmények

| Minőségi paraméter | Hagyományos búza | | | Durum búza | | |
|-----------------------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------|------|-----|
| | javító minőségű | I. | Ipari minőségű II. | III. | I. | II. |
| Hektoliter súly, kg/100 l | 78 | 76 | 72 | 78 | 75 | |
| Nedvességtartalom, % | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | |
| Keverékesség, % | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | |
| - káros keverék, % | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| - könnyű keverék, % | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| 2.0 %-on felül megengedett: | | | | | | |
| - tört szem, % | 2,0 | 2,0 | 6,0 | 2,0 | 2,0 | |
| - csírázott szem, % | 2,0 | 2,0 | 5,0 | 2,0 | 2,0 | |
| - rozs, % | 2,0 | 2,0 | 3,0 | - | - | |
| - sérült szem, % | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | |
| - elszíneződött szem, % | - | - | - | 3,0 | 8,0 | |
| - poloska szűrt, % * | - | 2 | 4 | 2 | 2 | |
| - hagyományos búza, % | - | - | - | 4,0 | 10 | |
| Acélos, % * | - | - | - | 60 | 30 | |
| Rovarmaradvány | | NEM ENGEDÉLYEZETT | | | | |
| * Adott tulajdonságú magvak száma | | | | | | |

Az amerikai gabona szabvány számozott minőségi osztályokat határoz meg (árpára, zabra, rozsra, triticáléra, búzára, stb.). A legelső osztály jelölése "U.S. Sample grade". Ebbe a csoportba tartozik a minta által reprezentált gabona halmaz, amennyiben

- egyik számozott osztályba sem sorolható
- dohos, a kereskedelemben kifogásolható szaga van
- melegszik
- 100 grammja 32 vagy több, kártevő által károsított magot tartalmaz (csak búza esetében)
- kóvel, üvegtörmelékkel, mérgező magvakkal, ismeretlen mérgező anyagokkal, állati ürülékkel szennyezett.
- Egyéb szempontból nem megfelelő minőségű

A 2. táblázat mutatja be az amerikai gabonaszabvány számozott minőségi osztályait.

2. táblázat: Minőségi osztályok az Egyesült Államokban

| Minőségi osztály | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 |
|---|------|------|------|------|------|
| Alsó határértékek (fontban) | | | | | |
| TÉRFOGAT TÖMEG (lbs/bu) | | | | | |
| Piros kemény szemű és fehér búza | 58,0 | 57,0 | 55,0 | 53,0 | 50,0 |
| A többi osztály és alosztály számára | 60,0 | 58,0 | 56,0 | 54,0 | 51,0 |
| Felső határértékek | | | | | |
| SÉRÜLÉSEK | | | | | |
| Károsodott magvak | | | | | |
| --Hőkárosodott (részben vagy teljesen) | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 3,0 |
| --Összesen | 2,0 | 4,0 | 7,0 | 10,0 | 15,0 |
| Idegen anyag | 0,4 | 0,7 | 1,3 | 3,0 | 5,0 |
| Aszott vagy törött magvak | 3,0 | 5,0 | 8,0 | 12,0 | 20,0 |
| Összesen* | 3,0 | 5,0 | 8,0 | 12,0 | 20,0 |
| EGYÉB BÚZA MAGVAK** | | | | | |
| Összehasonlító osztályok | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 10,0 | 10,0 |
| Összesen*** | 3,0 | 5,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| KÖVEK | | | | | |
| | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Felső határértékek (darabszám) | | | | | |
| EGYÉB ANYAGOK | | | | | |
| Állati ürülék | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ricinus magvak | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Crotalaria magvak | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Üveg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kövek | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Ismeretlen idegen anyag | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Összesen**** | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| ROVAROK ÁLTAL KÁROSODOTT MAGVAK 100 GRAMMBAN | | | | | |
| | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |

A 2. táblázatban:

*Összes károsodott mag, idegen anyag, aszott és törött szem

**Nem osztályozott búza, legfeljebb 10.0%-ig egyéb búza osztály magvaival

***Az összehasonlító osztályokkal együtt

****A felsorolt szennyeződések tetszőleges kombinációjával

2.2. Gabona vizsgálatok digitális képelemzéssel

2.2.1. Szín vizsgálata

Majumdar és Jayas (2000) a vörös, zöld és kék színek komponensek, a színezeti szög, telítettség és világosság átlag értékei, tartománya és szórása segítségével végzett méréseket. A színjellemzők egymástól független értékelésének eredményeként a vörös, zöld és kék komponensek átlag értékeit érdemes osztályozásra felhasználni. A világosság, telítettség és színezeti szög kevésbé bizonyultak fontosnak. Vörös, fehér és gyömbér színű búza magvakat sikerült elkülöníteni Kanadában az átlagos RGB értékek alapján (Neuman *et.al.*, 1989, I-II.). Az őszi vörös színű osztályokat viszonylag magas (90% feletti) hatékonysággal sikerült megkülönböztetni, de a csoportokon belül a fajták azonosítása nem volt sikeres. A képfeldolgozás aktuális irányzatait figyelve az átlagos RGB értékeket kiegészítik a felszín színének eloszlásával is. J. Meuleman és C. van Kaam nem irányított neurális hálókat alkalmaztak 1997-ben virágok levelének, szirmainak, szárának és a háttérének elkülönítésére. Ez a módszer egy 450 elemű adatsor osztályozása során csak egyetlen hibát vétett: a szár egy képpontját levélként ismerte fel.

2.2.2. Alak leírása

Marshall, Ellison és Mares (1984; 1986) egyszerű geometriai modelleket felhasználva elemezték búzaszemek alakját és az alak változásának hatását az egységnyi felületre jutó térfogatra, ezen keresztül pedig az őrlési kihatásra. Ausztrál fajták alakját és méretét vizsgálták, és úgy találták, hogy a megfigyelt alakok távol esnek az őrlési kihatás szempontjából optimális gömbszerű formától. A nemesítők szempontjából a következő kérdések lehetnek fontosak:

- Melyek a magvak optimális méretei (hosszúság, szélesség és magasság) az őrlési kihatás maximálásához?
- Vajon a kihatás növekedése eléri-e azt a mértéket, amely miatt érdemes egy nemesítő programot elindítani?
- A búza genomja lehetővé teszi-e a magvak alakjának jelentősebb változtatását?

Öt geometriai modellt elemeztek: henger, piramis, tetraéder, kettős kúp, forgási ellipszoid. Ezen testek elemzésével jelölték ki a fejlesztés fő irányát. Zayas, Pomeranz és Lai 1989-ben már összetettebb modelleket használtak. Az általánosan használt paraméterek (terület, kerület, hossz, szélesség, Feret átmérők 0° , 45° , 90° és 135° -nál) mellett ezek arányaival (kerületből és területből számított sugár hányadosa, kerület és konvex kerület aránya, konvex kerület és hossz aránya, Feret átmérők aránya: $0^\circ/45^\circ$ és $90^\circ/135^\circ$) írták le a formát. Shatadal, Jayas, Hehn és Bulley 1995-ben magvakat osztályoztak elsődleges gabona, kis méretű szemek, nagy méretű szemek csoportjaiba. Kísérleteikben a piros kemény szemű búza (HRS) és árpa volt az elsődleges gabona; mustár (barna, sárga, keleti) és len magok voltak a kis szeműek; *Laird* és *Eston* lencse fajták, bab, borsó és hajdina magvai voltak a nagy szeműek. Kutatásuk célja volt a búza és árpa szemek elkülönítése a többitől pusztán alaki tulajdonságaik alapján. A kamera előtt nem pozícionálták a magokat. A következő paramétereket mérték: kerület, terület, szélesség, legnagyobb és legkisebb sugár. Ezekből számították: ellipszicitást (hosszúság és szélesség aránya), vékonyságot (kerület négyzetének aránya a területhez), legkisebb és legnagyobb sugár arányát, a terület és a hosszúság, szélesség szorzatának arányát, valamint a sugár variációs koefficiensének reciprokát. Morimoto, Takeuchi, Miyata és Hashimoto (1998) a kerület véletlenszerűségét mérték. Káoszjellemzőkkel azonosították a szabálytalan alakzatokat. Attraktorok (Singh, Maru és Moharir, 1998; Bünner *et.al.*, 2000, Gleick, 2000) rajzolásával mutatták meg a körvonal összetettségét. Morimoto *et.al.* változó eltolást alkalmazva számították a fraktál dimenzió mérőszámot. Az attraktorokat ellipszisnek feltételezve mérték a legkisebb (W_2) és legnagyobb (W_1) szélességet. Határértékeket állapítottak meg a nem megfelelő alakú paradicsomok elkülönítésére: 0,375-től 0,531-ig W_2/W_1 értékére, valamint 1,464-től 1,514-ig a fraktál dimenzió értékére. A kaotikus jellemzők mérése mellett a körvonalat egy elvárt alakhoz is hasonlíthatjuk, megalkotva az ideális körvonalat (Liao *et.al.*, 1993; Firtha, 1998). Kukorica magok alakjához készített sablont Liao *et.al.* 1993-ban. Három részre osztották a testet: korona rész, test és csúcsi rész. Nyolc alaki jellemzőt

vizsgáltak neurális háló segítségével. Gömb szerű magvakkal 93,25%-os, lapos magvakkal pedig 97,5%-os hatékonyságot értek el (az érzékszervi vizsgálatokhoz hasonlítva). Firtha (1998) hagyma körvonalát hat jellemző szakaszra bontotta és azokat egyenként matematikai függvényekkel közelítette (konstans, exponenciális és koszinusz). Az együtthatók tartalmazzák a szükséges információt az alak felépítéséhez, háromdimenziós modell készítéséhez és a különböző formák osztályozásához. Martinovich és Felföldi (1996) gyors Fourier transzformáció, polár minősítés és a polár körvonalak közvetlen összehasonlításának módszereit használták hagymafajták osztályozására. A polár minősítő rendszer egy általános és igen hatékony adat redukciós eljárás, amelyet NIR spektrumok elemzésére fejlesztettek. A spektrum - vagy tetszőleges spektrum szerű adatsor - minőségpontja az adatsor polár spektrumának (polár koordináta rendszer, ahol a sugár a mért adat, a szög pedig a hullámhossz függvénye) középpontjaként definiált. A minőségpont meghatározásának három módja ismert (Kaffka, Gyarmati, 1998): a pont, a vonal és a terület módszer.

2.2.3. Felszíni mintázat elemzése

A mintázat a képek fontos jellemzője. Fontossága és egyértelmű jelenléte ellenére nincsen precíz definíciója. A mintázatok elemzési technikái legtöbb esetben *ad.hoc.* módszerek (Haralick, Shapiro, 1992). A statisztikai megközelítés módszerei közé tartozik az autokorreláció mérése, a spektrális sűrűség függvény, az egységnyi területre jutó élhossz, az intenzitás értékek együttes előfordulásának valószínűsége, az azonos intenzitású területek eloszlása, a matematikai morfológia. Az intenzitás értékek együttes előfordulásának vizsgálatát leggyakrabban az együttes előfordulások gyakorisági mátrixának segítségével határozzák meg. Ezt a mátrixot könnyű létrehozni és értelmezni. Ha pedig a mátrix helyett egy vektorba gyűjtjük az intenzitás különbségeket, a mintára jellemző spektrumot hozhatjuk létre. Az elemzés iránya természetesen ilyenkor kiemelten fontos, hiszen a spektrum adatai függenek a mintázat pozíciójától (elfordulásától). A pásztázás irányát és az összehasonlítandó pontok távolságát vektorok határozzák meg. Négy irányt javasolnak általában: 0°, 45°, 90° és 135° (Jähne, Haußecker, Geißler, 1999, vol.2). Az irányoknak megfelelően a paraméterek száma is növekszik. Majumdar és Jayas (2000) intenzitások együttes előfordulásának gyakoriságát és az azonos intenzitású területek eloszlását is vizsgálták. Elemzéseik eredményeként a szürke kép felbontását 256-ról 8-ra csökkentették, ezzel csökkent a számítási idő és növekedett a pontosság. Tizenöt paramétert választottak: 8 gyakorisági, 4 eloszlási és 3 egyéb (átlag, szórás, tartomány). Ezeket a jellemzőket minden színre és az intenzitás értékekre is kiszámították, valamint a színek kombinációira: $G_1=(3R+2G+B)/6$, $G_2=(2R+G+3B)/6$ és $G_3=(R+3G+2B)/6$. Az osztályozás hatékonysága 92,0% volt független teszt mintán és 92,9% a tanuló mintán.

3. Célkitűzés

A bemutatott munka célja vizuális minőségi paraméterek megfogalmazása gabonaszemek alakjának méréséhez, színének és felületi mintázatának elemzéséhez. Fontos célkitűzés volt a meghatározott jellemzők kombinálása a minta összetevőinek számítógéppel történő osztályozása céljából, úgy mint búza, borsó, kukorica, árpa, gyommagvak, növényi és állati maradványok.

A kitűzött cél megvalósítása és a vizuális jellemzők megértése érdekében a következő vizsgálatokat és fejlesztéseket terveztem:

- a vizsgálandó test és környezetének hatékony elválasztása még akkor is, ha közel azonos intenzitásúak, csupán színben különböznek (például a sötétbarna gyommagvak fekete háttéren)
- testek alakjának leírása
 - általános matematikai függvényekkel (szinusz)
 - polinomokkal
 - szabályosság és ön hasonulás alapján
- a felszín átlagszínének mérése csökkentve a megvilágítás változásából eredő különbségeket
- a felszín színeloszlásának és mintázatának meghatározása

4. Anyagok és módszerek

4.1. Anyagok

A mérésekhez felhasznált mintákat a malomipar bocsátotta rendelkezésre (búzaminta a jellemző szennyező anyagokkal), valamint az ismert búzafajtákat tartalmazó mintát az Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet (OMMI, Budapest) adta. A 3. táblázat bemutatja a vizsgált minta összetételét. Az egyes csoportokban levő magvak száma megmutatja a jellemző előfordulási gyakoriságokat is.

3. táblázat: A minta összetétele

| Neve | Darab | Százalék |
|--------------------------------|-------|----------|
| Kukorica magok | 310 | 24,58 |
| Árpszemek | 209 | 16,57 |
| Egész, nagy búzaszemek | 201 | 15,94 |
| Egész, kicsi búzaszemek | 200 | 15,86 |
| Törött búza magvak | 56 | 4,44 |
| Idegen anyag* | 57 | 4,52 |
| Rovarok által károsított | 51 | 4,04 |
| Keverék a teszteléshez, benne: | 177 | 14,04 |
| - gyommagvak | 57 | 4,52 |
| - növényi maradványok | 42 | 3,33 |
| - törött búzaszemek | 37 | 2,93 |
| - kukorica magvak | 19 | 1,51 |
| - zöldborsó szemek | 18 | 1,43 |
| - kövek | 4 | 0,32 |
| Összesen | 1261 | 100,00% |

*Rögrostán fennmaradó anyagok

Az itt bemutatott mennyiségből kiválasztott csoportok képezték a tanuló- és tesztmintákat. Egy különleges keverék (n=177; 14,04%) segítségével ellenőriztem a végső osztályozó algoritmust. Az ép búzaszemek csoportját a nagy- és kisméretű magvak csoportja alkotja. A gyakorlatban problémát okoz a kisméretű és a törött búzaszemek megkülönböztetése. Az ép magvak ilyen felosztása segít megoldani ezt a problémát.

4.2. Módszerek

4.2.1. Szín elemzése

A kiválasztott objektum felszínét pásztázva az átlag vörös, zöld és kék színek komponensek meghatározhatók. A megvilágítás hatásának csökkentésére normált értékekkel történt az osztályozás:

$$r_n = \frac{255 \cdot \bar{R}}{\bar{R} + \bar{G} + \bar{B}} \quad g_n = \frac{255 \cdot \bar{G}}{\bar{R} + \bar{G} + \bar{B}} \quad b_n = \frac{255 \cdot \bar{B}}{\bar{R} + \bar{G} + \bar{B}} \quad (\text{Eq.1})$$

4.2.2. Alak modellezése

A következő matematikai függvények segítségével sikerült leírni az objektumok körvonalát:

$$R = a + b \cdot \sin(c \cdot \alpha + d) \quad (\text{Eq.2})$$

A 2. egyenlet egy ellipszisszerű alakot feltételez, de a periódus változtatható. A változó periódus hatására a függvény képes aszimmetrikus alakzatok közelítésére, de az illetett körvonalban általában szakadás tapasztalható. Az egyenlet együttható geometriai jelentéssel bírnak: a = átlag sugár, b = amplitúdó, c = szinusz periódusa, d = a test helyzete a kamera előtt.

$$R = a + (b + c \cdot \sin(\alpha + d)) \cdot \sin(2 \cdot \alpha + e) \quad (\text{Eq.3})$$

Eq.3 egy elliptikus alakot feltételez aszimmetrikus deformációval. Ez a függvény a búzaszemek jellegzetes alakját írja le. Az együtthatók jelentése: a = átlag sugár, b = amplitúdó, c = deformáció mértéke, d = a deformáció helyzete a test tengelyéhez képest, e = a test helyzete a kamera előtt.

$$R = a + b \cdot \alpha + c \cdot \alpha^2 + d \cdot \alpha^3 + e \cdot \alpha^4 + f \cdot \alpha^5 + g \cdot \alpha^6 + h \cdot \alpha^7 + i \cdot \alpha^8 \quad (\text{Eq.4})$$

A polinomiális regresszió esetében nincsen az együtthatóknak szemléletes geometriai jelentése (miként a szinusz függvény esetében). A nyolcad fokú polinom 9 paraméterrel írható le, van egy konstans is (a). A paraméterek értékeit polár diagramba rajzolva a szögelfordulás azonosítja az együtthatókat, a sugár pedig megmutatja az együtthatók értékét. Az így kapott görbe polár minőségpontja és a görbét befoglaló téglalap területe azonosította a test alakját.

A körvonalban rejlő káosz az alak szabálytalanságát és összetettségét jelzi. A polárkoordinátás körvonal adatsorának matematikai transzformációjával ez láthatóvá tehető. A fázistérbe rajzolt attraktorokat a következő paraméterekkel értékeltem:

- a gráfot befoglaló legkisebb négyzet területe
- a gráf lefedett területének aránya e négyzeten belül
- kerületi index

A kerületi index kiszámítható a kerület hosszának, az átlag sugár és a befoglaló négyzet területének hányadosaként (Eq.5). Ez egy sűrűség függvényhez hasonlít.

$$PI = \frac{N}{\bar{R} \cdot (r_{max} - r_{min})^2} \quad (\text{Eq.5})$$

ahol N jelenti a kerület hosszát képpontokban, R a sugarat, r pedig a normált sugár értékeket. A legkisebb befoglaló négyzet 400 egyforma négyzetre lett felosztva (egy 20x20-as hálóval). A gráfot tartalmazó cellák összeszámolásával határoztam meg az attraktor lefedett területét. Elméletileg, a számítás pontossága $\pm 0,125\%$. A polár adatsor felhasználásával 360x360 méretű káosztérképet készítettem és a megjelenő mintázatot statisztikai módszerekkel elemeztem. A teljes körvonalat 360 részre osztottam, ahol minden elem az adott tartományba eső sugár értékek átlagát tartalmazta (0° -tól 360° -ig). A térkép elemeit ezek után a következő képlettel lehet kiszámítani:

$$M(x,y) = \frac{|R(x) - R(y)|}{R_{max} - R_{min}} ; x=0..360^\circ \text{ és } y=0..360^\circ \quad (\text{Eq.6})$$

Az értékek 0 és 1 között normáltak, de a mátrix megjelenítéséhez e tartományt 0 és 255 közé transzformáltam. A számítások eredményeként egy 360x360 méretű szürke árnyalatokat

tartalmazó képet kapunk. Az együttes előfordulások valószínűségeinek elemzéséhez két - egymásra merőleges irányban (0° és 90°) - vizsgáltam a szomszédos pontok intenzitásait. A következő statisztikai paraméterek írták le a kapott mintázatot:

- energia egyenletessége
- entrópia
- homogenitás

Ezek az együttműködők a káosztérkép egyenletességét mérik. A számítás során alkalmazott abszolút értékek miatt (Eq.6) a mintázat minden esetben főátlóra szimmetrikus.

4.2.3. Felszín mintázatának elemzése

A test minden látható pontjának intenzitását a szomszédos pontokhoz hasonlítva a különbségeket hisztogramokba gyűjtöttem. Négy hisztogram készült: egy a világosság értékeknek, és egy minden színkomponens számára (vörös, zöld és kék). A szürke képek mintáinak elemzése hagyományos módszernek tekinthető, amely a világos és sötét részek periodikus váltakozását méri. Ezt a módszert a színjellemzőkre kiterjesztve meghatározható a felszín színeinek eloszlása is. A polár minősítő rendszer (pont módszere) segítségével számítottam a hisztogramok minőségpontjának koordinátáit.

4.2.4. Statisztikai értékelés

Páronként végzett diszkriminancia analízis eredményeit felhasználva döntési fát készítettem a vizsgált összetevőkre. A diszkriminancia analízis mellett egy normált távolságfüggvényt is felhasználtam. Ez a függvény a mért értékeket a tanulóminták átlagához hasonlítja, a távolságot pedig szórásban fejezi ki. Előnye, hogy egy dimenziómentes mérőszámot ad (D) és ezért eltérő jelentésű és nagyságrendű paramétereket is összehasonlíthatóvá tesz. A szórással történő normálás következtében a távolságokhoz valószínűségeket is rendelhetünk (feltéve, hogy a tanuló minta adatai normális eloszlásúak). A távolságfüggvény felhasználását mutatja be a 4. táblázat egy példán keresztül. Egy tanulóminta átlag és szórás értékei alapján a távolságok paraméterenként számíthatóak. A távolság választott határértékeinél összeszámolható a határértéket átlépő paraméterértékek száma. Ha ez utóbbi meghaladja az általunk elfogadhatónak minősített szintet, a testet nem helyezhetjük ebbe a csoportba.

4. táblázat: Távolság függvényen alapuló értékelés

| Tanuló minta | Paraméterek | | | | | | |
|-----------------|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|---|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | |
| Átlag | 7,75 | 0,38 | 0,78 | 172,0 | 19,74 | 32,49 | |
| Szórás | 0,06 | 0,01 | 0,2 | 44,6 | 3,42 | 2,33 | |
| Mért test | Paraméterek | | | | | | |
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | |
| Mért érték | 7,84 | 0,37 | 0,46 | 354,31 | 27,15 | 24,93 | |
| Távolság | 1,5 | -0,28 | -1,58 | 4,08 | 2,16 | -3,25 | |
| Határérték | Határértéket átlépte | | | | | | N |
| SD | + | - | + | + | + | + | 5 |
| $2SD$ | - | - | - | + | + | + | 3 |
| $3SD$ | - | - | - | + | - | + | 2 |

5. Eredmények

A vizuális információk három típusát különböztethetjük meg: forma, szín és mintázat. Ezeket figyelik a szakértők érzékszervi bírátaik során. Szükséges egy olyan paraméter sor megfogalmazása, amely segítségével a számítógépek modellezhetik az emberi érzékszervi bírálatokat. A kutatás eredményei alapján legjobbnak bizonyult a következő csoport:

- Alak leírása. a.) polinomiális regresszió: átlag sugár, együttthatók minőségpontjának koordinátái: PQS_x és PQS_y , determinációs együtttható: R^2 ; b.) kaotikus paraméterek: attraktor befoglaló területe, lefedett területe, kerületi index; c.) szimmetria jellemzésére: energia egyenletessége, entrópia, homogenitás.
- Szín mérése: normált színjellemzők: vörös, zöld és kék intenzitások
- Felszín mintázatának elemzése: a hisztogramok minőségpontjainak koordinátái: vörös, zöld, kék és szürke adatsorra

Összesen 21 paramétert választottam ki: 10 alakot, 3 színt és 8 mintázatot leíró. A csoportokon belüli paraméterek száma egyben a csoport befolyását is jelzi. Az alaki jellemzők között 6 kaotikus paraméter található, amely alapján feltételezhető a szabályosság kiemelt fontossága.

Négyzetes összefüggés van a polinomiális együttthatók minőségpontjának PQS_y koordinátája és a polár együttthatókat befoglaló téglalap területe között.

$$Y = a(x-u)^2 + v$$

A felszíni különbségek hisztogramjának normálása a polár minősítés előtt csökkenti az osztályok közötti távolságot. Túlságosan közel kerülnek egymáshoz, így nem választhatók szét hatékonyan.

A következő táblázat összefoglalja a diszkriminancia analízis eredményeit:

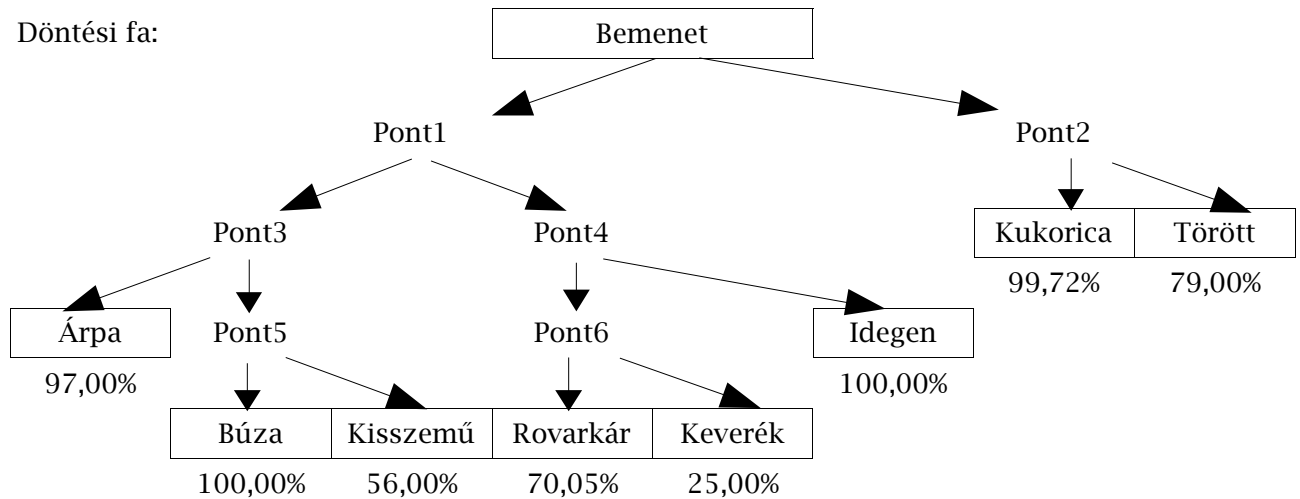
| Minták felismerésének hatékonysága | | | |
|--------------------------------------|--------|---------------|----------|
| Módszer | Búza | Törött szemek | Kukorica |
| Színjellemzők | 80,21% | 61,28% | 96,75% |
| Változó periódusú szinusz függvény | 90,05% | 100% | 99,03% |
| Változó amplitúdójú szinusz függvény | 97,51% | 96,43% | 97,42% |
| Polinomiális regresszió | 96,52% | 91,07% | 97,42% |
| Káoszjellemzők | 99,5% | 98,21% | 99,68% |
| Felszíni mintázat (szürke) | 97,4% | 98,18% | 94,77% |
| Felszíni mintázat (minden színre) | 100% | 100% | 100% |
| Optimális paraméter sor | 100% | 98,18% | 100% |

A következő táblázat bemutatja a távolságfüggvényen alapuló osztályozás eredményét.

| Felismerés hatékonysága ($D_{\max}=3$, $N_{\max}=3$) | | |
|---|---------------|----------|
| Búza | Törött szemek | Kukorica |
| 100% | 89,81% | 100% |

Az optimális paraméter sorral páronként kiválasztott osztályokon végzett diszkriminancia analízissel döntési fát készítettem.

Döntési fa:



Ahol:

- Pont1: búza és egyéb anyagok
- Pont2: kukorica és törött búzaszemek
- Pont3: búza és árpa
- Pont4: idegen anyagok
- Pont5: nagy és kis búzaszemek
- Pont6: rovarok által károsított és keverék

Az értékes magvak (búza, árpa) Pont1 csomópontban választhatók szét az idegen anyagoktól. Itt a kisméretű búzaszemek 56,12%-a és az idegen anyagok 56,52%-a követi a helyes útvonalat. Ezek után a keveréknek 57,14%-a haladt tovább a megfelelő úton (Pont4). Ez az oka, hogy a keverék csupán 25%-a került a megfelelő csoportba. A nagy méretű ép búzaszemek és idegen anyagok (a rögróstán fennmaradó anyagok) 100%-át helyesen osztályozza.

5.1. Új tudományos eredmények

5.1.1. Alak vizsgálata változó periódusú szinusz függvénnyel

A következő matematikai függvény jól illeszkedett a polárkoordinátás adatokra:

$$Y = a + b \cdot \sin(c \cdot x + d)$$

ahol a jelenti az átlagos sugarat, b jelenti az amplitúdót, c a periódust (egyben a jellemző formát), valamint d azonosítja a tárgy kamera előtti pozícióját.

5.1.2. Alak vizsgálata változó amplitúdóval rendelkező szinusz függvénnyel

A következő matematikai függvény egy deformált elliptikus alakot illeszt a körvonalra. Ez a forma a búzaszemekre jellemző.

$$Y = a + (b + c \cdot \sin(x + d)) \sin(2x + e)$$

ahol a jelenti az átlagos sugarat, b az ellipszishez való hasonlóságot, c a forma szimmetriájának mértékét, valamint $d-e$ megmutatja az aszimmetrikus deformáció pozícióját a test főtengelyéhez viszonyítva.

5.1.3. Polinomiális regresszió

Nyolcadfokú polinom illesztésének eredményeként a következő paraméterek írják le a formát: átlag sugár, determinációs együttható (R^2) és az illesztett polinom együtthatóinak polárminőségpontjának koordinátái.

5.1.4. Az alak önazonosulása

Az alak önazonosulása attraktorok segítségével vált mérhetővé. A késleltetési függvények a polár adatsor 25%-os eltolásával jöttek létre. A fázistérben megjelenő gráfot a következő paraméterek írják le: a gráfot befoglaló legkisebb négyzet területe, a gráf által lefedett terület aránya a négyzeten belül, valamint a kerületi index. Ez utóbbi egy új paraméter, egy sűrűség jellegű dimenziómentes mérőszám. Megmutatja, hogy az egységnyi méretű test gráfjának mekkora része esik az attraktort befoglaló terület egységnyi részletére.

$$PI = \frac{N}{\bar{R} \cdot (r_{max} - r_{min})^2}$$

ahol N jelenti a kerület hosszát képpontokban, \bar{R} az átlag sugarat, és r a normált sugár értékeket.

5.1.5. A forma szimmetriája

Az alak szimmetriája a polár adatsorból előállított különbségmátrix, valamint annak megjelenített képéből (káosztérkép) a mintázat elemzésével megállapítható. A következő egyenlet bemutatja a mátrix elemeinek kiszámításához használt összefüggést:

$$M[x;y] = \frac{|R_x - R_y|}{R_{max} - R_{min}}$$

ahol $M[x;y]$ a mátrix egy eleme, R_x jelenti az x szöghöz tartozó sugár értékét, R_{max} a legnagyobb és R_{min} a legkisebb sugár. A mátrix mintázatának kiértékelése az energia egyenletessége, entrópia és homogenitás statisztikai jellemzőkkel végezhető el.

5.1.6. Felszíni mintázat elemzése

A felszín szomszédos pontjainak intenzitás különbségeit hisztogramba gyűjtve a polár minősítő rendszer (POS) hatékonyan bizonyult a mintázatok azonosításában.

5.1.7. Optimális paraméterek

Összesen 21 elemből álló paraméter csoport kiválasztásával sikerült leírni a testek vizuális jellemzőit. A csoport tartalmazza az alak jellemzőket (10 paraméter: a polinomiális regresszió eredményeként és a káosz leírásával), színjellemzőket (3 paraméter), valamint a felszín leírását (8 paraméter: a minőségpont két koordinátája minden színjellemzőre és az intenzitás értékekre).

5.1.8. Osztályozás

Új osztályozó eljárást sikerült bevezetni. Egy dimenziómentes mérőszám segítségével a mért paraméterek a tanuló minták középértékeihez hasonlíthatóak:

$$D = \frac{x - \bar{x}}{sd}$$

ahol D a távolság, x a paraméter mért értéke, \bar{x} a tanulóminta középértéke és sd a paraméter értékeinek szórása. Az osztályozó algoritmus viselkedése két adattal szabályozható: a távolságok elfogadható legnagyobb értéke és ezt a határértéket meghaladó paraméter értékek számának maximuma.

6. Publikációs tevékenység

Könyv, jegyzet:

Baranyai László (2001): Mérnöki számítások C/C++ nyelven. LSI Oktatóközpont, Budapest (ISBN 963 577 307 2)

Angol nyelvű lektorált cikkek:

László Baranyai, István Farkas (1998): Shape recognition of different wheat varieties. Proc. of IFAC, Control Applications in Post-Harvest and Processing Technology, Pergamon Elsevier Science, Oxford, 95-97

László Baranyai (1999): Estimating shape of seed grains. Publications of University of Horticulture and Food Industry, vol.58, 49-56

László Baranyai (2001): Classification of seed grains on the basis of their surface pattern. Acta Alimentaria (elfogadva)

László Baranyai (2001): Comparison of chaotic properties of shape of seed grains. Hungarian Agricultural Engineering (nyomdában)

László Baranyai (2001): Pattern of chaotic maps. Pattern recognition Letters, Elsevier Science (PATREC 2034)

Előadások teljes szövegű cikkei:

László Baranyai, Ferenc Firtha (1997): Selection of broken kernels by image analysis. Quality Assessment of Plant Products, No.3, 1-4

Baranyai László, Firtha Ferenc (1997): Gabonaszemek szín- és alakjellemzőinek összehasonlítása számítógépes látórendszer felhasználásával. MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 274-278

Baranyai László (1998): Búzaszemek alakleíró függvényeinek elemzése. MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 294-297

Baranyai László (2000): Gabonahalmaz összetevőinek vizsgálata felületi mintázatuk alapján. MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő

László Baranyai (2000): Visual evaluation of grains. AgEng 2000 Conference Proceedings, Warwick, CD-ROM

Baranyai László (2001): Periodikus jelek kaotikus paramétereinek összehasonlítása. MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő

Egyéb cikkek:

Baranyai László (1999): Kódvita. Új Alaplap, vol.7, 28

Baranyai László (2000): A "házi" kriptográfia. Új Alaplap, vol.3, 58-59

Előadások:

Baranyai László (1997): Gabonaszemek szín- és alakjellemzőinek összehasonlítása számítógépes képelemzéssel. OTDK, Keszthely (Élelmiszertudományi szekció 1. helyezés)

Baranyai László (1998): Számítógépes alakfelismerési módszerek alkalmazása a minőségbiztosításban. EOQ Magyar Nemzeti Bizottsága, statisztikai módszerek albizottság ülése, Budapest

Perédi, J. - Szollár, L. - Rischák, K. - Baranyai, L. (1998): A zsírsavösszetétel- módosítás hatása a napraforgóolaj triglicerid-összetételére. Lippay János - Vas Károly Tudományos Ülésszak, Budapest

Baranyai László (2000): Termények alakjellemzése kaotikus paramétereikkel. Lippay János - Vas Károly Tudományos Ülésszak, Budapest

Baranyai László (2001): Malomipari alapanyagok minőségének vizsgálata számítógépes látórendszerrel. EOQ Magyar Nemzeti Bizottsága, statisztikai módszerek albizottság ülése, Budapest

Elektronikus publikációk:

Baranyai László (2000): A képfeldolgozás alaplépéseit bemutató program. Új Alaplap, vol.3, CD-ROM

László Baranyai (Internet site): Test images for pattern recognition
<http://physics2.kee.hu/baranyai/image.htm> (Department of Physics & Control)
(Mutatók vannak a következő lapokon: AgEng SIG9, NJSZT-KÉPAF)

Egyéb:

Baranyai, L - Meuleman, J. (1998): Uborka térbeli helyzetének meghatározása üvegházban. Lippay János - Vas Károly Tudományos Ülésszak, Budapest (poster)

László Baranyai (1998): Three-dimensional imaging of cucumbers in the greenhouse. TEMPUS Report at IMAG-DLO, Wageningen, NL

László Baranyai (1999): Szemes termények felismerése alak- és felületi jellemzőik alapján. MTA-AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő

7. Felhasznált irodalom

- F.J. Adamsen, P.J. Pinter Jr., E.M. Barnes, R.L. LaMorte, G.W. Wall, S.W. Leavitt, B.A. Kimball /1999/
Measuring wheat senescence with a digital camera
Crop Science, vol.39, 719-724
- H. Bunke, M. Zumbühl /1999/
Acquisition of 2D shape models from scenes with overlapping objects using string matching
Pattern Analysis & Applications, vol.2, 2-9
- M.J. Büchner, M. Ciofni, A. Giaquinta, R. Hegger, H. Kantz, R. Meucci, A. Politi /2000/
Reconstruction of systems with delayed feedback: I. Theory
The European Physical Journal, vol.10, 165-176
- K.G. Campbell, C.J. Bergman, D.G. Gualberto, J.A. Anderson, M.J. Giroux, G. Hareland, R.G. Fulcher, M.E. Sorrells, P.L. Finney /1999/
Quantitative trait loci associated with kernel traits in a soft x hard wheat cross
Crop Science vol.39, 1184-1195
- CIE Central Bureau in Vienna
CIE 15.2-1986 Tables (x,y,z for 2° and 10°; Colour stimulus functions)
<http://www.ping.at/CIE>
- S. Chaturvedi, P.D. Drummond /1999/
Stochastic diagrams for critical point spectra
The European Physical Journal, vol.8, 251-267
- Codex Alimentarius Hungaricus 2-61/1997
Milling products
- T.G. Crowe, M.J. Delwiche /1996/
A system for fruit defect detection in real-time
AgEng '96, Madrid, Paper No. 96F-023
- EEC No. 2731/75, 29 October 1975
Regulation of standard qualities for common wheat, rye, barley, maize and durum wheat in the European Community
- EEC No. 1454/82, 18 May 1982
Regulation of standard qualities for common wheat, rye, barley, maize and durum wheat in the European Community
- EEC No. 1028/84, 31 March 1984
Regulation of standard qualities for common wheat, rye, barley, maize and durum wheat in the European Community
- EEC No. 2094/87, 13 July 1987
Regulation of standard qualities for common wheat, rye, barley, maize, sorghum and durum wheat in the European Community
- EEC No. 689/92, 16 March 1992
Fixing the procedure and conditions for the taking-over of cereals by intervention agencies
- EEC No. 2054/93, 19 July 1993
Regulation of standard qualities for common wheat, rye, barley, maize, sorghum and durum wheat in the European Community
- EEC No. 2594/97, 18 December 1997
Regulation of standard qualities for common wheat, rye, barley, maize, sorghum and durum wheat in the European Community
- R.P. Ewing, R. Horton /1999/
Quantitative color image analysis of agronomic images.
Agronomy Journal, vol.91, 148-153
- Federal Grain Inspection Service /1999/
1998 U.S. grain exports: quality report
U.S. Department of Agriculture, 1-4; 21-22; 35-37

- F. Firtha /1998/
Természetes objektumok alakjának leírása (Description of shape of natural objects)
János Lippay - Károly Vas International Scientific Symposium, Budapest
- J. Gleick /2000/
Káosz. Egy új tudomány születése (Chaos. Making a new science)
Göncöl Kiadó, Budapest
- Z. Győri, I. Mile Győriné /1998/
A búza minősége és minősítése (Quality and qualification of wheat)
Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Y.J. Han, Y. Feng, C.L. Weller /1996/
Frequency domain image analysis for detecting stress cracks in corn kernels
Applied Engineering in Agriculture, vol.12, 487-492
- R.M. Haralick, L.G. Shapiro /1992/
Computer and robot vision.
Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 453-505
- B. Jähne, H. Haußecker, P. Geißler /1999a/
Handbook of computer vision and applications. Volume 1. Sensors and Imaging.
Academic Press, San Diego
- B. Jähne, H. Haußecker, P. Geißler /1999b/
Handbook of computer vision and applications. Volume 2. Signal processing and pattern recognition.
Academic Press, San Diego
- B. Jähne, H. Haußecker, P. Geißler /1999c/
Handbook of computer vision and applications. Volume 3. Systems and applications.
Academic Press, San Diego
- K.J. Kaffka, L.S. Gyarmati /1998/
Investigating the polar qualification system
Journal of Near Infrared Spectroscopy, vol.6, A191-A200
- K. Liao, M.R. Paulsen, J.F. Reid, B.C. Ni, E.P. Bonifacio-Maghirang /1993/
Corn kernel breakage classification by machine vision using a neural network classifier
Transactions of the ASAE, vol.36, 1949-1953
- Gy. Lukács /1982/
Színmérés (Colorimetry)
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 131-134; 142
- S. Majumdar, D.S. Jayas /2000/
Classification of cereal grains using machine vision: I. Morphology models
Transactions of the ASAE, vol.43, 1669-1675
- S. Majumdar, D.S. Jayas /2000/
Classification of cereal grains using machine vision: II. Color models
Transactions of the ASAE, vol.43, 1677-1680
- S. Majumdar, D.S. Jayas /2000/
Classification of cereal grains using machine vision: III. Texture models
Transactions of the ASAE, vol.43, 1681-1687
- S. Majumdar, D.S. Jayas /2000/
Classification of cereal grains using machine vision: IV. Combined morphology, color and texture models.
Transactions of the ASAE, vol.43, 1689-1694
- D.R. Marshall, F.W. Ellison, D.J. Mares /1984/
Effects of grain shape and size on milling yields in wheat. I. Theoretical analysis based on simple geometric models.
Australian Journal of Agricultural Research vol.35, 619-630
- D.R. Marshall, D.J. Mares, H.J. Moss, F.W. Ellison /1986/
Effects of grain shape and size on milling yields in wheat. II. Experimental studies
Australian Journal of Agricultural Research vol.37, 331-342

- L. Martinovich, J. Felföldi /1996/
 Measurement of homogeneity of onion (*Allium cepa* L.) varieties and lines using computer based shape and colour analyses.
 Horticultural Science, vol.28., 69-75
- MathWorks Inc. /2000/
 Image processing toolbox. User's guide
 The MathWorks, Inc.
- J. Meuleman, C. van Kaam /1997/
 Unsupervised image segmentation with neural networks
 3rd International Conference on Sensors in Horticulture, Tiberias, Israel
- T. Morimoto, T. Takeuchi, H. Miyata, Y. Hashimoto /1998/
 Pattern recognition of fruit shape on the basis of chaos using neural networks
 CAPPT 2nd International Workshop, Budapest, 125-130
- MSZ 6354/1-1989
 MSZ 6354/2-82
 MSZ 6367:2001
 MSZ 6383
- H. Naumann, G. Schröder /1983/
 Bauelemente der Optik. Taschenbuch für Konstrukteure
 Carl Hanser Verlag München Wien, 391
- M.R. Neuman, H.D. Sapirstein, E. Shwedyk, W. Bushuk /1989/
 Wheat grain colour analysis by digital image processing I. Methodology
 Journal of Cereal Science, vol.10, 175-182
- M.R. Neuman, H.D. Sapirstein, E. Shwedyk, W. Bushuk /1989/
 Wheat grain colour analysis by digital image processing II. Wheat class discrimination
 Journal of Cereal Science, vol.10, 183-188
- G. Palubinskas, R.M. Lucas, G.M. Foody, P.J. Curran /1995/
 An evaluation of fuzzy and texture-based classification approaches for mapping regenerating tropical forest classes from Landsat-TM data
 International Journal of Remote Sensing, vol.16, 747-759
- J.R. Piggott /1986/
 Statistical procedures in food research
 Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Essex
- Gy. Popper, F. Csizmás /1993/
 Numerikus módszerek mérnököknek (Numeric methods for engineers)
 Akadémiai Kiadó
- A. Rosenfeld /2000/
 Image analysis and computer vision. The past half-century
 IAPR Newsletter vol.22, No.1,
- J. Schanda /2000/
 Colorimetry (in: Handbook of Applied Colorimetry, edited by C. DeCusatis)
 Am. Inst. of Physics, Woodbury, New York, 327-412
- H. Schneider, M. Häußler, H.D. Kutzbach /1997/
 Optimize grain quality by broken kernel detection
 Quality Assessment of Plant Products, 25-28
- P. Shatadal, D.S. Jayas, J.L. Hehn, N.R. Bulley /1995/
 Seed classification using machine vision
 Canadian Agricultural Engineering vol.37, No.3, 163-167
- P. Shatadal, D.S. Jayas, N.R. Bulley /1995/
 Digital image analysis for software separation and classification of touching grains: I.
 Disconnect algorithm
 Transactions of the ASAE, vol.38, 635-643

- P. Shatadal, D.S. Jayas, N.R. Bulley /1995/
Digital image analysis for software separation and classification of touching grains: II.
Classification
Transactions of the ASAE, vol.38, 645-649
- R. Singh, V.M. Maru, P.S. Moharir /1998/
Complex chaotic system and emergent phenomena
Journal of Nonlinear Science, vol.8, 235-259
- T. Szirányi, J. Zerubia /1997/
Markov random field image segmentation using cellular neural network
IEEE Transactions on Circuits and Systems, vol.44, 86-89
- R.K. Tiwari, K.N.N. Rao /1999/
Phase space structure, attractor dimension, Lyapunov exponent and nonlinear prediction
from Earth's atmospheric angular momentum time series
Pure and Applied Geophysics, vol.156, 719-736
- United States Grain Standard Act
- T. Vízványó /1999/
PQS method for analysis of mushroom spectral characteristics
Publ. Univ. Horticulture and Food Industry, vol.58, 27-34
- I.Y. Zayas, C.R. Martin, J.L. Steele, A. Katsevich /1996/
Wheat classification using image analysis and crush-force parameters
Transactions of the ASAE, vol.39, 2199-2204
- I. Zayas, Y. Pomeranz, F.S. Lai /1989/
Discrimination of wheat and nonwheat components in grain samples by image analysis
Journal of Cereal Chemistry, vol.66, 233-237