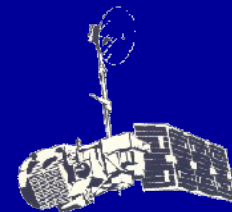


Távérzékelte felvételek kiértékelése, a képelemzés feladata és módszerei



Csornai Gábor – László István

Földmérési és Távérzékelési Intézet

Távérzékelési Igazgatóság

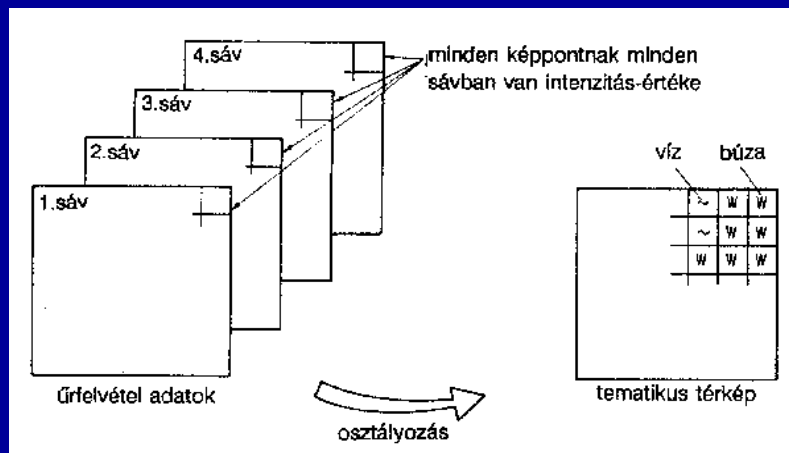
Az előadás 2011-es átdolgozott változata
a TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KMR-2010-0003
pályázat támogatásával készült.

Távérzékelte felvételek kiértékelése

A távérzékelte felvételek kiértékelésének célja, követelmények

A távérzékelte felvételek kiértékelésének célja:

A szükséges többsávos, több időpontban készített, több adatforrásból származó felvételek segítségével a földfelszíni objektumok, felszínborítási elemek minél több állapotthatározóját pontosan, megbízhatóan megbecsülni, valamint a keresett célkategóriák tematikus térképét elkészíteni.

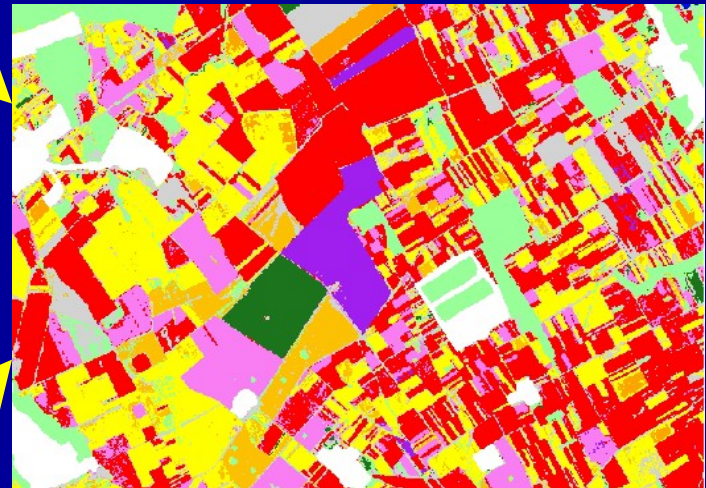


Többsávos űrfelvételek tematikus kiértékelése

2003. 03. 29., Landsat 7 ETM+



2003. 07. 27., Landsat 5 TM

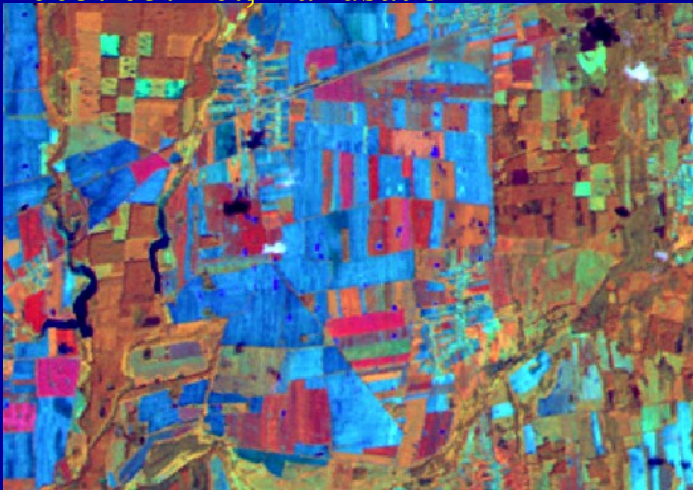


nővénytérkép-részlet

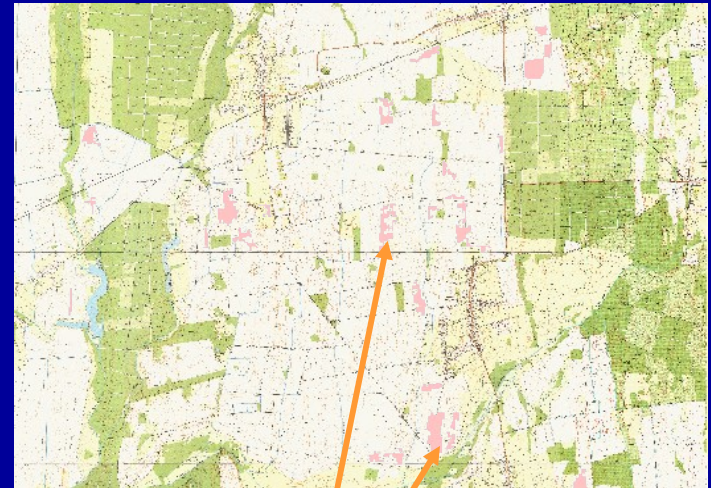
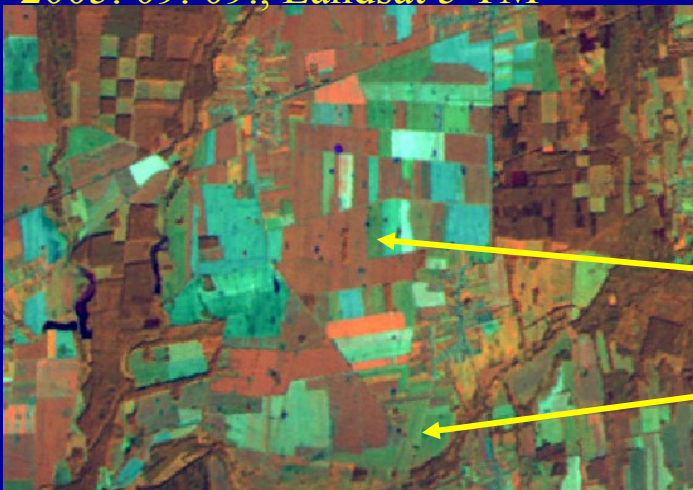
	Őszi búza
	Tavaszi árpa
	Őszi árpa
	Kukorica
	Silókukorica
	Napraforgó
	Cukorrépa
	Lucerna
	Vízfelszínek
	Nem mezőgazdasági területek
	Egyéb szánóföldi növények

Többsávos űrfelvételek tematikus kiértékelése

2005. 05. 20., Landsat 5 TM



2005. 09. 09., Landsat 5 TM



Parlagfűfoltok
kalászos-tarlón

A távérzékelést adatok kiértékelésének két alapszere: vizuális értelmezés (interpretáció) és a digitális képfeldolgozás

Kiértékelési eljárások összehasonlítása

Feladat	Vizuális interpretáció (szem + agy rendszer)	Számítógépes kiértékelő rendszer
Geometriai összefüggések, struktúrák felismerése	kitűnő	gyenge
Textúra felismerése, azonosítása	jó	gyenge
Textúra mérése	gyenge	kitűnő
Tónusok elkülönítése	közepes	kitűnő
Megbízhatóság, objektivitás, reprodukálhatóság	közepes	jó
Feldolgozási sebesség	gyenge	kitűnő
Bonyolult szakértelem, egyéb ismeretek alkalmazása	jó	közepes
Több adatforrás vagy időpont együttes kiértékelése	gyenge	kitűnő

Kvantitatív távérzékelési feladatok megoldása

A feladatmegoldás fő fázisai:

- a célkitűzés pontos megfogalmazása
- modellek létrehozása
- felvételek beszerzése, adatgyűjtés és feldolgozás megtervezése
- felvételezés, terepi adatgyűjtés
- felvételek, egyéb adatok értelmezése, kiértékelése
- célinformáció nyerése az adatrendszerből – adatátadás a felhasználónak

Felvételek feldolgozása:

Előfeldolgozás és képelemzés (képanalízis)

Előfeldolgozás:

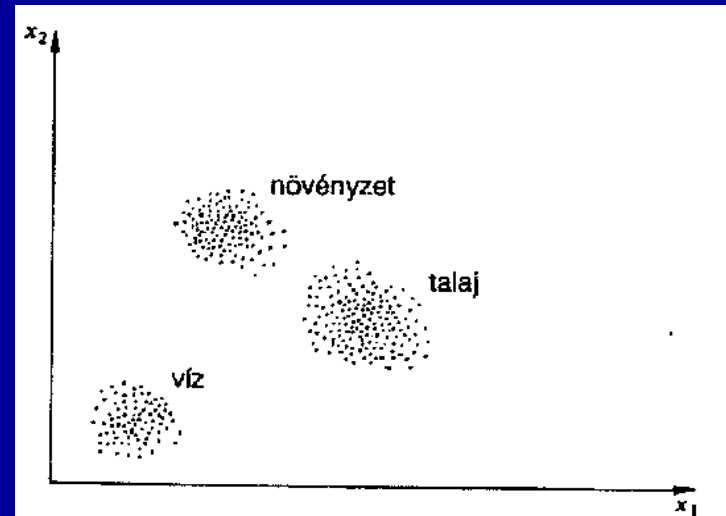
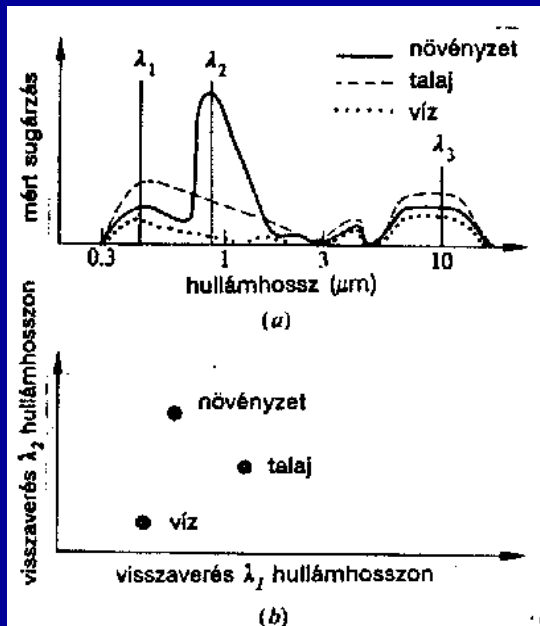
- digitális képek bevitele a feldolgozó rendszerbe,
- kvalitatív értelmezés és tájékozódás a felvételen,
- radiometriai hibák eltávolítása, csökkentése,
- geometriai hibák csökkentése
- lényegkiemelés korlátozott információ-csökkenés mellett
- vizuális interpretációt segítő eljárások végrehajtása
- területi és képpontintenzitás-statisztika számítása
- előfeldolgozott felvételek megjelenítése

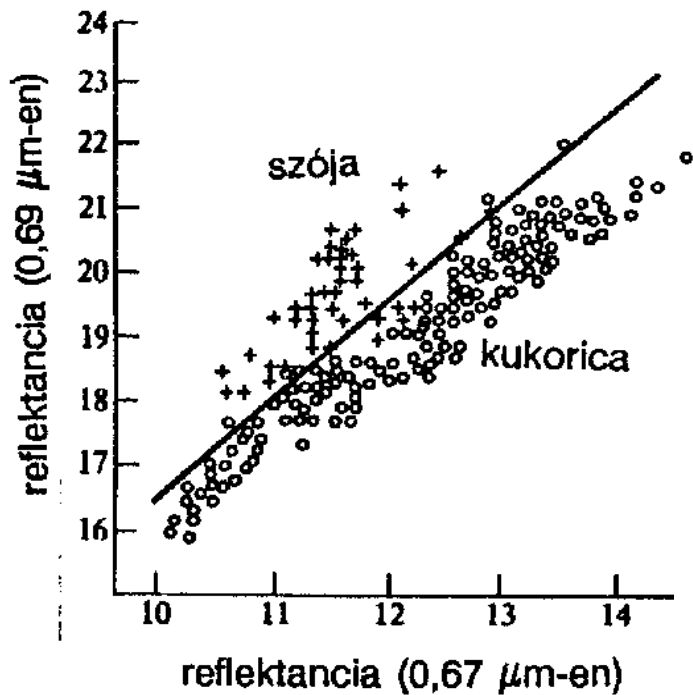
Az előfeldolgozott felvételen végrehajtott összetett, iteratív műveletsorozat

- A célosztályok meghatározása, rögzítése
- Referenciaadatokkal ellátott mintaterületek kiválasztása
- A felvétel spektrális, sugárzási adatosztályokra bontása
- Spektrális és tematikus (cél)kategóriák megfeleltetése
- A spektrális kategóriák közelségének, átfedésének mérése
- A tematikus osztályok spektrális jellemzőinek meghatározása
- Tematikus osztályozás
- Tematikus térképek pontosságvizsgálata

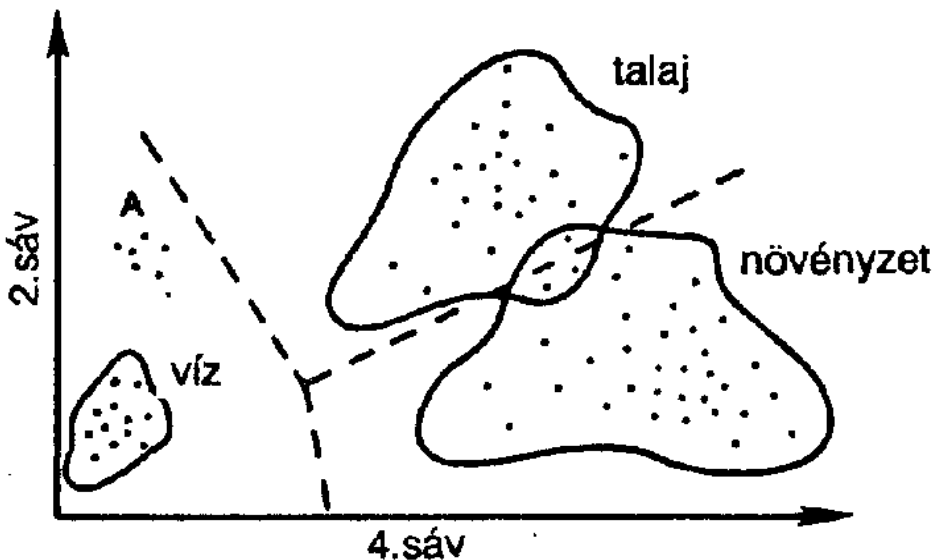
Intenzitástér

- A többsávos digitális kép egy vagy több mátrixként fogható fel
- A mátrix sorai, oszlopai a földfelszíni csíkoknak felelnek meg.
- Az intenzitástérben egy pixel sávonkénti intenzitásértékei a megfelelő pont koordinátái



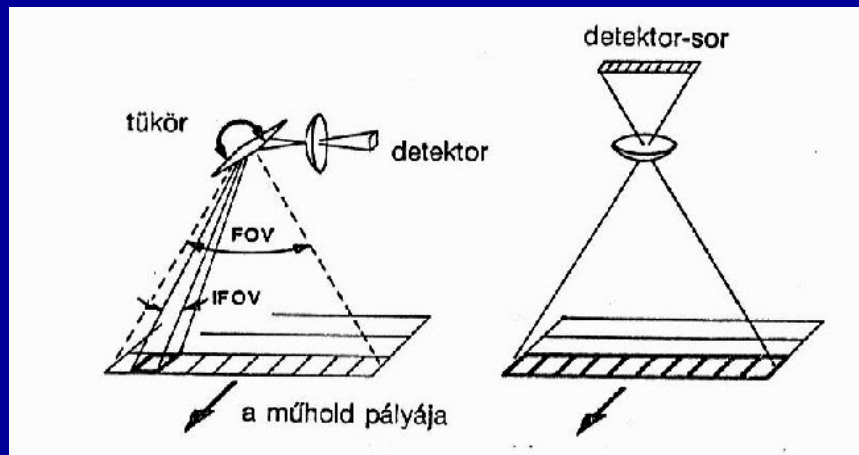
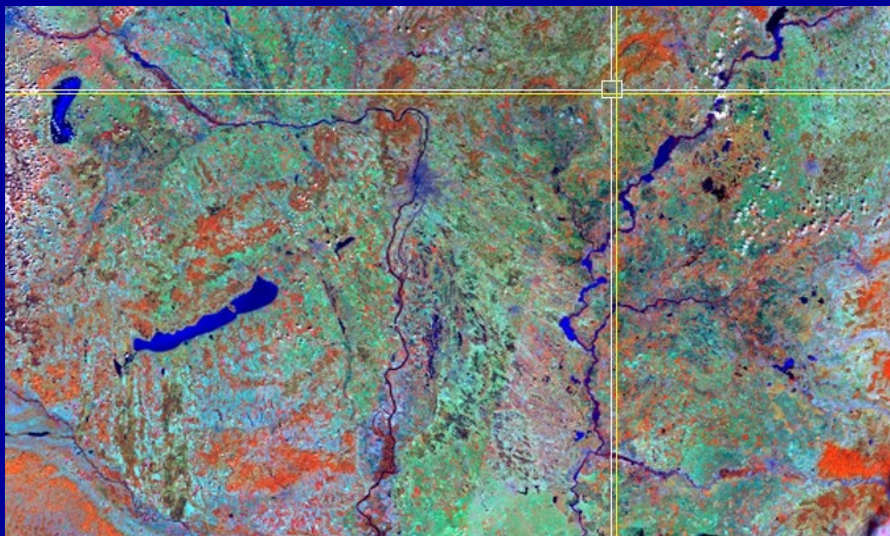


A különböző
felszínborítások
intenzitásai az
intenzitástérben
általában átfednek

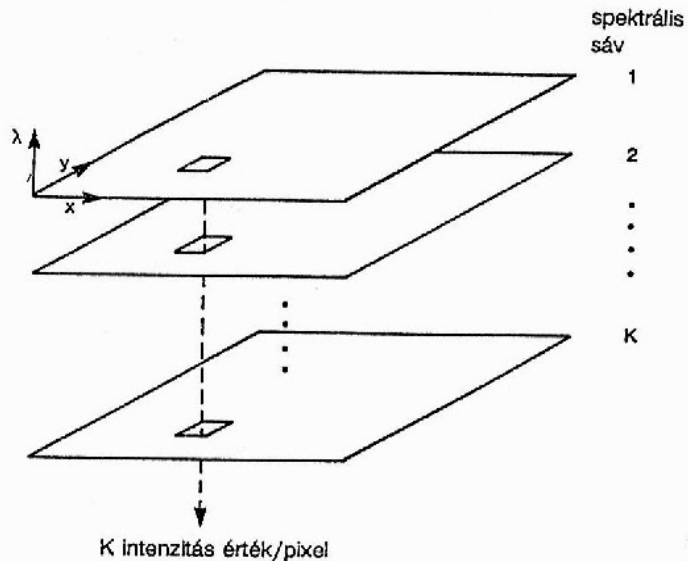


A képelemzés feladata és módszerei, a kvantitatív tematikus osztályozás

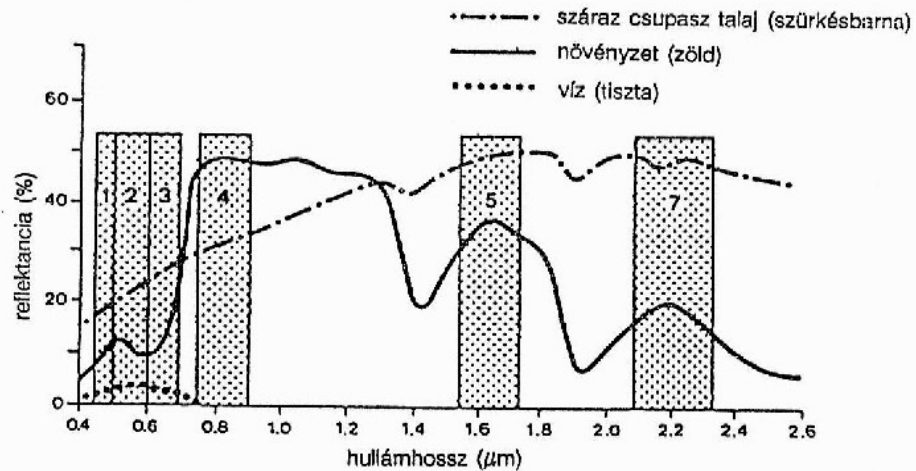
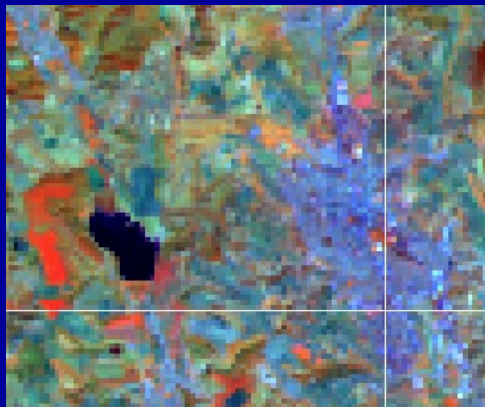
Emlékeztető: mit tartalmaz egy űrfelvétel?



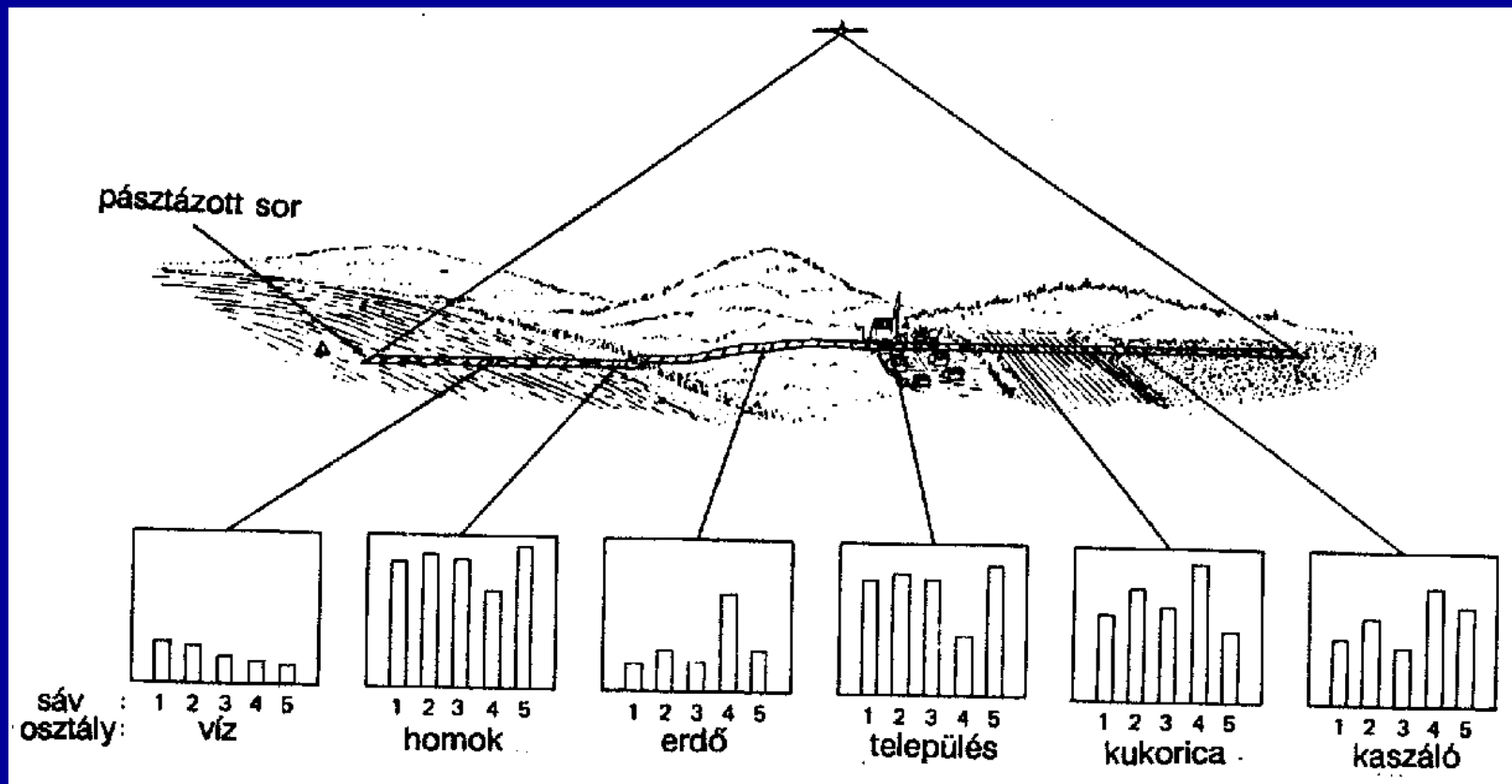
Emlékeztető: mit tartalmaz egy űrfelvétel?



Layer	Band	FILE PIXEL	LUT VALUE	HISTOGRAM
1		81.000		234009.000
2		35.000		446877.000
3		40.000	127.000	169857.000
4		57.000	93.000	115182.000
5		70.000	112.000	139239.000
6		123.000		213597.000
7		37.000		115182.000



A többsávos felvevő által rögzített vektorok minden földi pixelre különbözők a felszínborítástól függően



Célja:

The diagram illustrates the three-phase process of image classification:

- 1: TANULÁSI FÁZIS (Learning Phase):** Numerical data is collected from the training area to determine the spectral characteristics of the categories. It shows a 5x5 grid of pixel values (1-5) for different categories (víz, homok, erdő, település, kukorica, legelő).
- 2: OSZTÁLYOZÁSI FÁZIS (Classification Phase):** The unknown origin of pixels is determined by comparing them with the class characteristics. It shows a 5x5 grid of pixel values (1-5) for different categories (víz, homok, erdő, település, kukorica, legelő).
- 3: OUTPUT FÁZIS (Output Phase):** The results are presented as images, area data tables, and digital data files. It shows a 5x5 grid of pixel values (1-5) for different categories (víz, homok, erdő, település, kukorica, legelő).

A többsávós felvétel tematikus kiértékelésének elve

A képelemzés alapfeladata és a képosztályozás elemi megoldásai

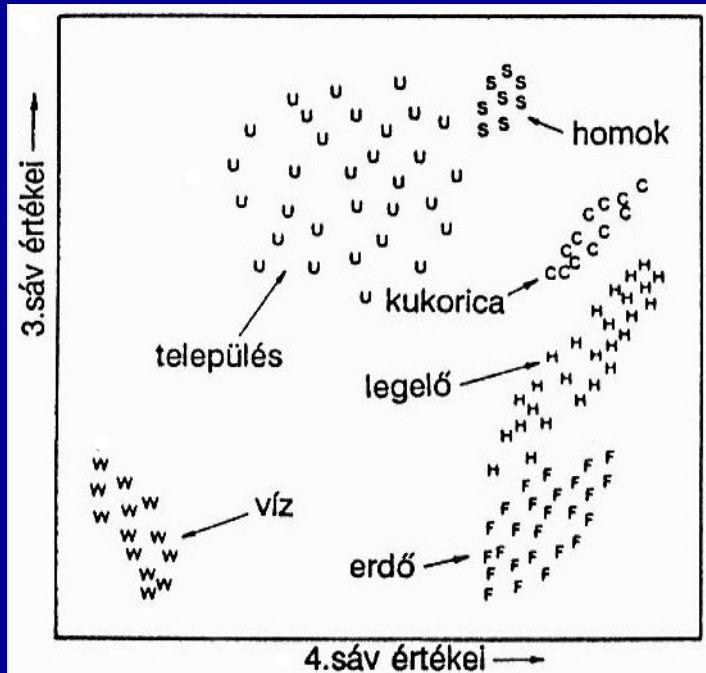
A tematikus osztályozással szembeni követelmények:

- matematikailag megfogalmazható legyen
- számítógépen megvalósítható és megbízható
- gyors, olcsó és objektív
- ismételhető és területben kiterjeszthető

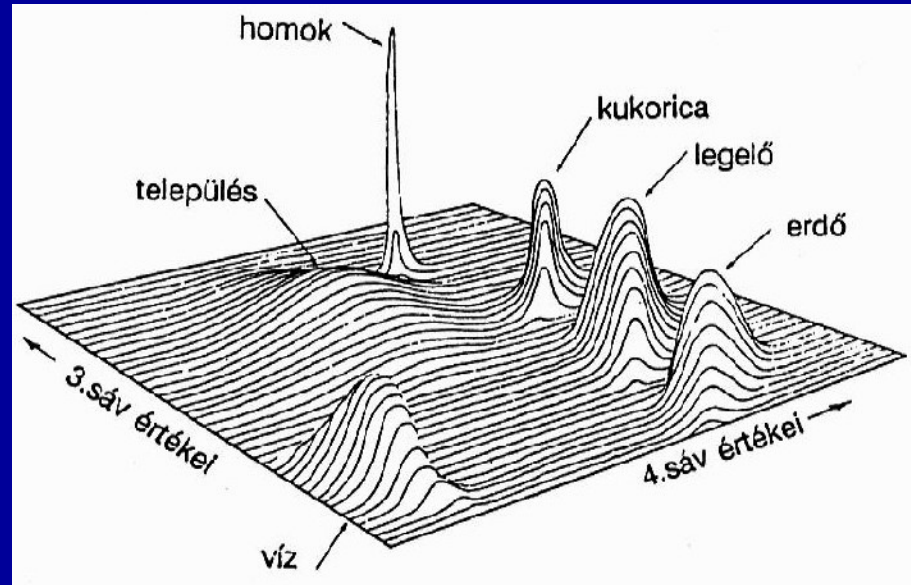
A felhasználható adatok:

- a pixel intenzitásértékei az egyes sávokban
- a pixel környezetének textúramértékei
- a pixel és környezetének intenzitásvektor-rendszere, vagy egyéb nem távérzékelési adat (talajtérképek stb.)

A képelemzés alapfeladata és a képosztályozás elemi megoldásai

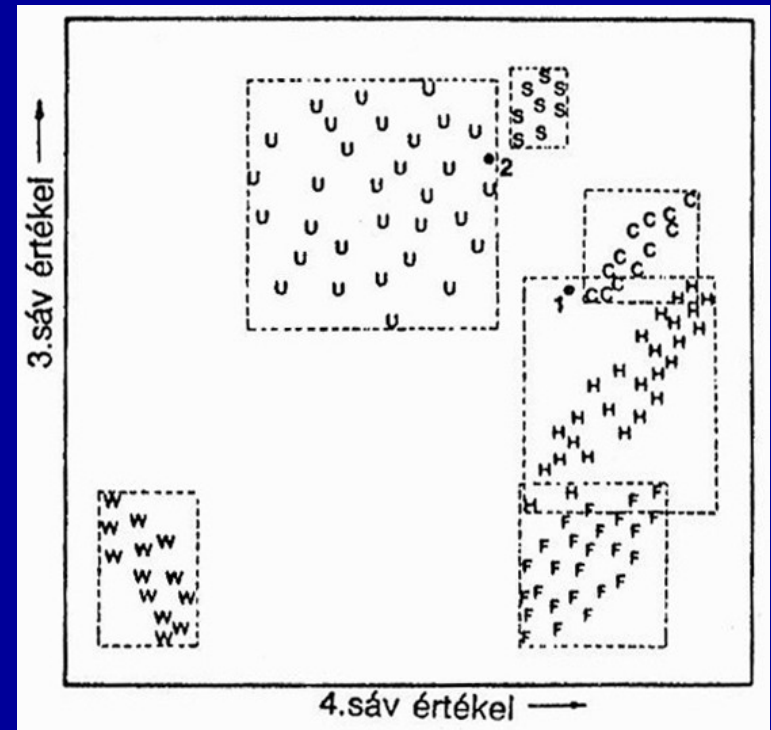
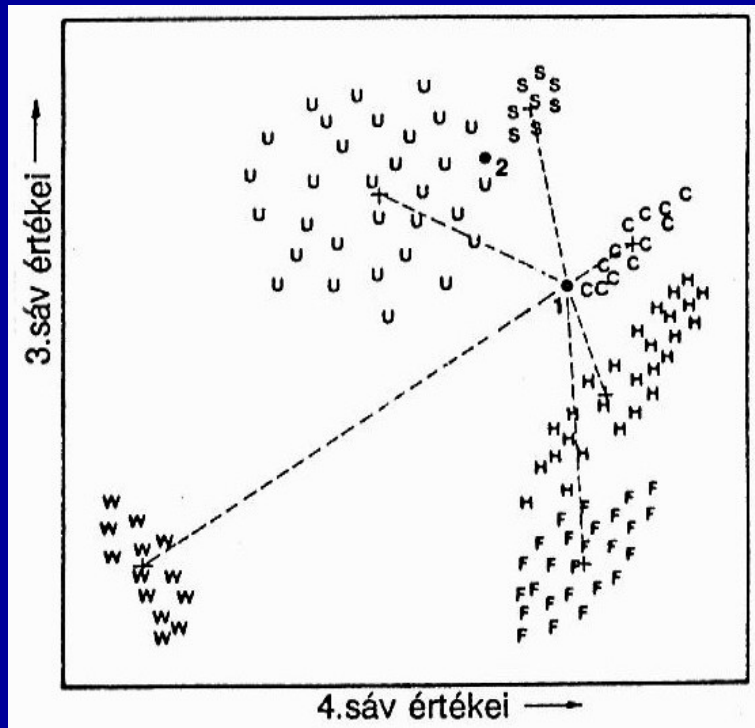


Az egyes célkategóriák képpontjai az intenzitástérben



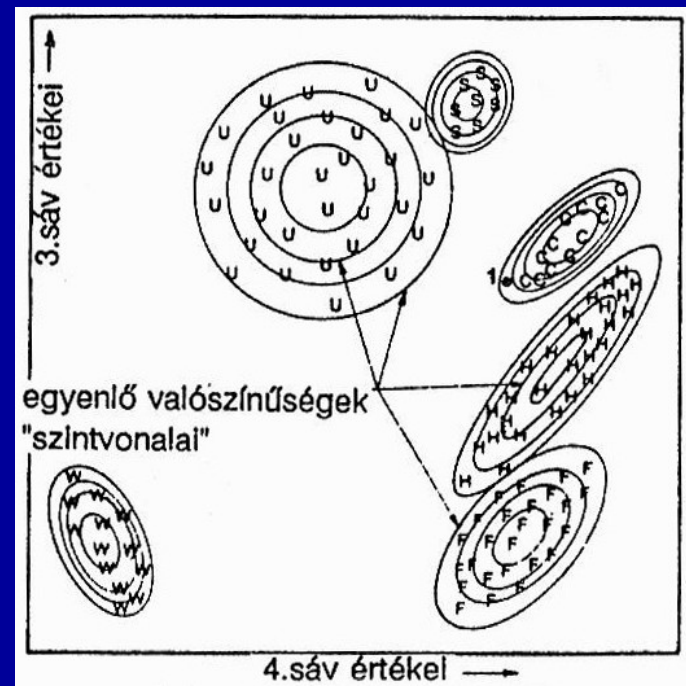
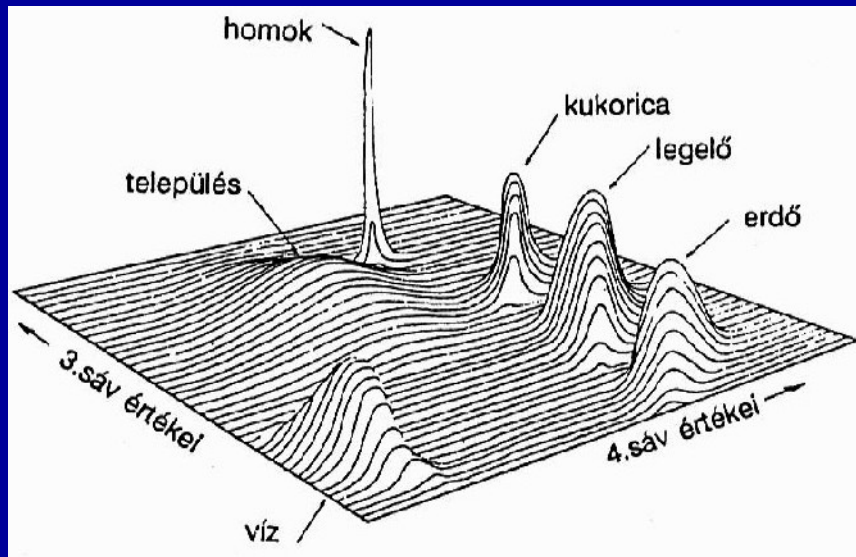
Az egyes kategóriák intenzitásvektorai jellegzetes valószínűség-eloszlást mutatnak 1-1 térrészben

A képelemzés alapfeladata és a képosztályozás elemi megoldásai



A képpont-osztályozás nehézsége a legközelebbi középpont alapján és ennek javítása ún. (hiper)tégla, vagy doboz osztályozási módszerrel.

A képelemzés alapfeladata és a képosztályozás elemi megoldásai



A valószínűség-eloszlásból kiindulva megrajzolhatóak az azonos valószínűségek szintvonalai. Ez a **maximum-likelihood** (legnagyobb-valószínűség) osztályozási módszer.

A képpontosztályozás alapproblémájának matematikai megfogalmazása a többsávós felvételekből történő tematikus térképkészítésben

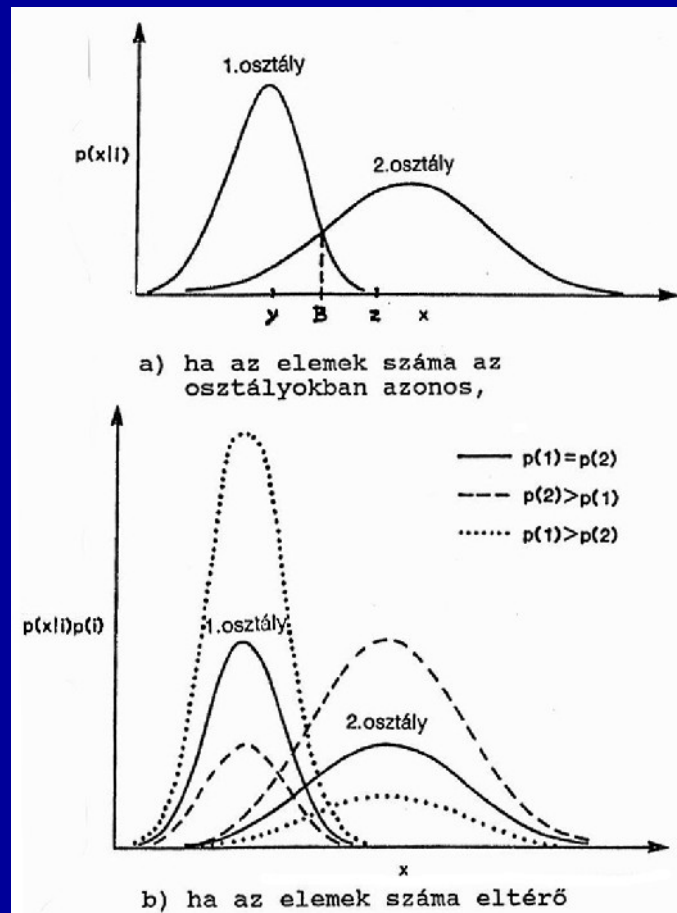
A feladat: minden pixelhez egy célkategória (osztály) hozzárendelése
(Célkategóriák pl.: ω_1 – búza, ω_2 – kukorica, ..., ω_{15} – település)

- A célkategóriák halmaza: ω_k ($k \in [1..K_F]$), K_F a célkategóriák száma
- Az egyes osztályokon (ω_k) belül a különböző pixelek vektorainak (\underline{v}) eloszlását: $p(\underline{x}|\omega_k)$ ($k \in [1..K_F]$)
- Tudjuk, hogy milyen az egyes osztályok előfordulási aránya a teljes képrészletben: $p(\omega_k)$ ($k \in [1..K_F]$)
- Ha az osztályozás során rosszul dönt az eljárás, abból pixelenként veszteség származik: $\lambda(\omega_k, \omega_l)$ vagy λ_{kl} ($k, l \in [1..K_F]$)
(Az ω_k osztályba soroltuk, de valójában az ω_l -be tartozik)

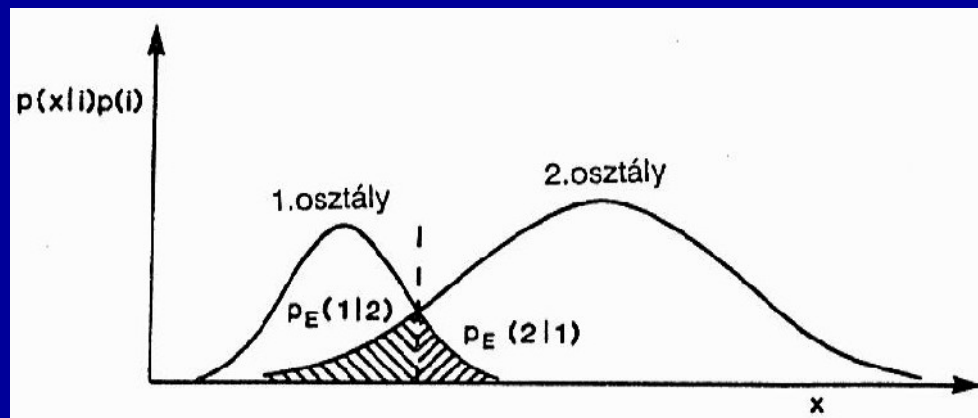
Feladat: ezen feltételek mellett egy optimális, tág körben használható eljárás keresése!

Megoldások: 1. osztály – lányok,
2. osztály – fiúk, B – döntési határ,
y - ismeretlen magasságú lány (ω_1),
z - ismeretlen magasságú fiú (ω_2)

Az osztályozás egy mennyiség
(testmagasság) alapján



$p_E(1|2)$ jelzi a ω_2 -be tartozó ω_1 -be soroltakat, $p_E(2|1)$ fordítva



A téves osztályozások számát, a hibát a sávozott területek adják.

A $p_E(1|2)$ jelzi a ω_2 -be tartozó ω_1 -be soroltakat, $p_E(2|1)$ fordítva

Besorolás diszkriminánsfüggvény alapján:

Egy \underline{x} vektort abba az ω_k osztályba sorolunk, amelyre $g_k(\underline{x})$ maximális.

Maximum-likelihood módszer:

$g_k(\underline{x}) = p(\underline{x}|\omega_k) p(\omega_k)$, vagyis:

Ha $p(\underline{x}|\omega_k) p(\omega_k) \geq p(\underline{x}|\omega_l) p(\omega_l)$ minden $l \in [1..K_F]$ -re,

akkor az \underline{x} vektort az ω_k osztályba soroljuk.

A $p(\underline{x}|\omega_k) p(\omega_k)$ maximalizálása ekvivalens $p(\omega_k | \underline{x})$ maximalizálásával
(adott \underline{x} -re):

$p(\omega_k | \underline{x}) p(\underline{x}) = p(\underline{x} \cap \omega_k) = p(\underline{x}|\omega_k) p(\omega_k)$ (feltételes valószínűség)

$p(\omega_k | \underline{x}) = p(\underline{x} \cap \omega_k) / p(\underline{x}) = p(\underline{x}|\omega_k) p(\omega_k) / p(\underline{x})$

A maximum-likelihood osztályozás okozza legkevesebb hibát.

Ha azt kívánjuk, hogy az osztályozási hibákból álló összes veszteség a lehető legkisebb legyen, eljutunk a **Bayes-osztályozáshoz**. Ha egy \underline{x} vektor besorolásáról van szó, és azt az k osztályba soroljuk, az ebből adódó veszteség:

$$L_{\underline{x}}(k) = \sum_{l=1}^{K_F} \lambda_{kl} p(\omega_l | \underline{x}) \quad k \in [1..K_F]$$

Ahol $p(\omega_l | \underline{x})$ annak valószínűségét adja meg, hogy egy \underline{x} vektor az ω_l osztályba tartozzon.

A feltételezett ismert mennyiségekkel kifejezve:

$$L_{\underline{x}}(k) = \sum_{l=1}^{K_F} \lambda_{kl} p(\underline{x}|\omega_l) p(\omega_l) / p(\underline{x})$$

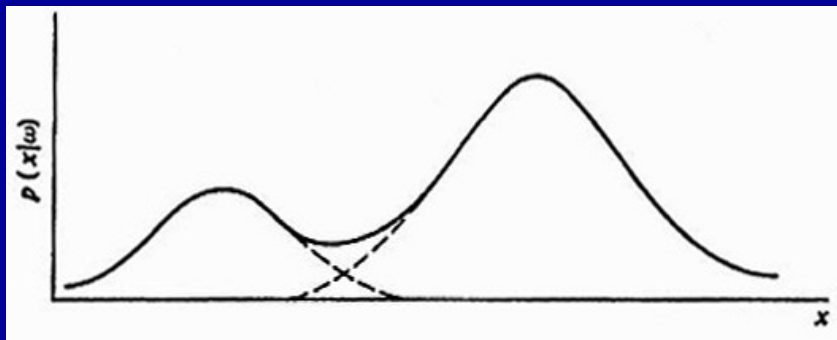
ahol:

$$p(\underline{x}) = \sum_{l=1}^{K_F} p(\underline{x}|\omega_l) p(\omega_l)$$

Ezek alapján tehát belátható, hogy a maximum-likelihood osztályozás a Bayes-osztályozás speciális esete a veszteségek azonos, szimmetrikus megválasztásával. („Fordított” egységmátrix: főátlóban 0, egyébként 1.)

A maximum-likelihood és a Bayes-osztályozás gyakorlatban használt összefüggései

- a négy kiindulási feltételt a gyakorlatban további megszorításokkal alkalmazzuk: a tematikus osztályokhoz egy „egyéb” osztályt is hozzáveszünk (nem osztályozott pixelek).
- a felvétel homogén területének pixeljei közelítőleg normális eloszlást mutatnak. Néhány durva eltérésnél is közelíthető súlyozott összeggel az osztály eloszlását (keverékeloszlás).



A bonyolult eloszlás közelítése normális eloszlások súlyozott összegével

- a normális eloszlású osztályok valószínűségi sűrűségfüggvénye B csatorna esetén:

$$p(\underline{x}|\omega_k) = (2\pi)^{-B/2} |\Sigma_k|^{-1/2} \exp[-\frac{1}{2}(\underline{x} - \underline{\mu}_k)^T \Sigma_k^{-1} (\underline{x} - \underline{\mu}_k)] \quad k \in [1..K_F]$$

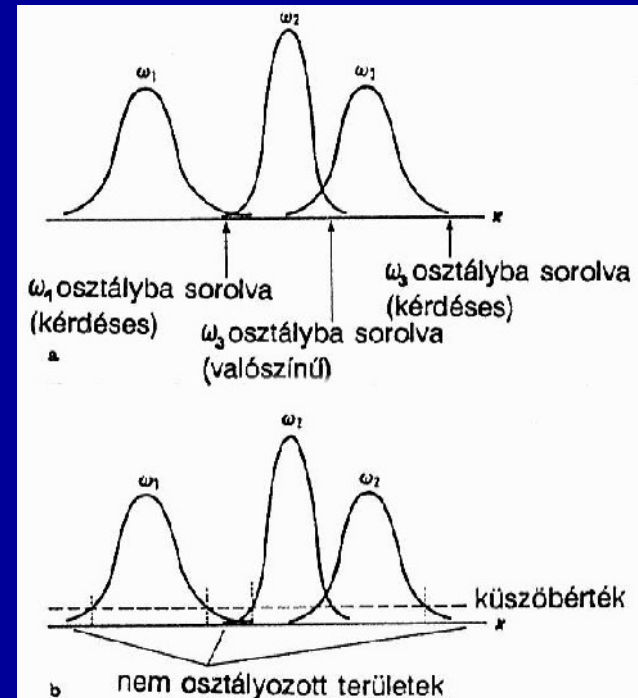
ω_k osztály jellemzői: $\underline{\mu}_k$ az osztály átlagvektora, Σ_k az osztály kovarianciamátrixa, $|\Sigma_k|$ ennek a determinánsa.

A $p(\omega_k)$ osztály-előfordulási valószínűségekre az osztályozók nem nagyon érzékenyek.

Az általános maximum-likelihood ($p(\omega_k) * p(\underline{x}|\omega_k) \geq p(\omega_l) * p(\underline{x}|\omega_l)$) képlete helyett használható a logaritmusa:

$$g_k(\underline{x}) = \ln p(\omega_k) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_k| - \frac{1}{2} (\underline{x} - \underline{\mu}_k)^T \Sigma_k^{-1} (\underline{x} - \underline{\mu}_k) \quad k \in [1..K_F]$$

- a normálistól még jobban eltérő eloszlás esetében is jól működik a maximum-likelihood osztályozó.
- a Bayes-osztályozás erős számításigénye miatt érdemes a maximum-likelihood eljárás után alkalmazni.

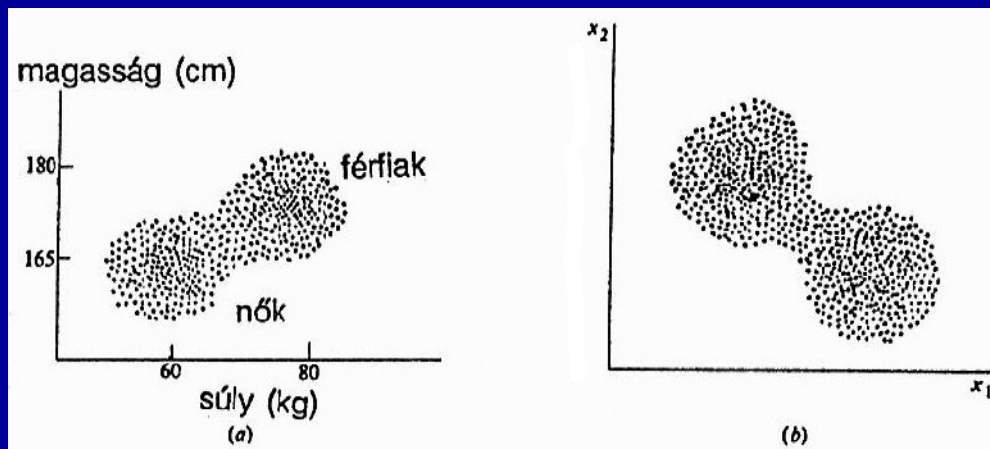


A nagyon kis valószínűséggel valamely osztályhoz tartozást kizáró küszöbérték és hatása

	1	2	3	4	5	6	7	8	Osztályok:
1	0	1	15	15	15	15	8	10	1 - búza ₁
2	2	0	15	15	15	15	8	10	2 - búza ₂
3	6	7	0	1	2	2	8	20	3 - kukorica ₁
4	6	7	1	0	1	1	8	20	4 - kukorica ₂
5	6	7	3	2	0	1	8	20	5 - kukorica ₃
6	6	7	3	2	1	0	8	12	6 - kukorica ₄
7	7	8	15	15	15	8	0	8	7 - cukorrépa
8	30	30	20	20	20	7	10	0	8 - település

Veszteségi mátrix a Bayes-osztályozáshoz

Spektrális adatosztályok, clusterek az intenzitástérben

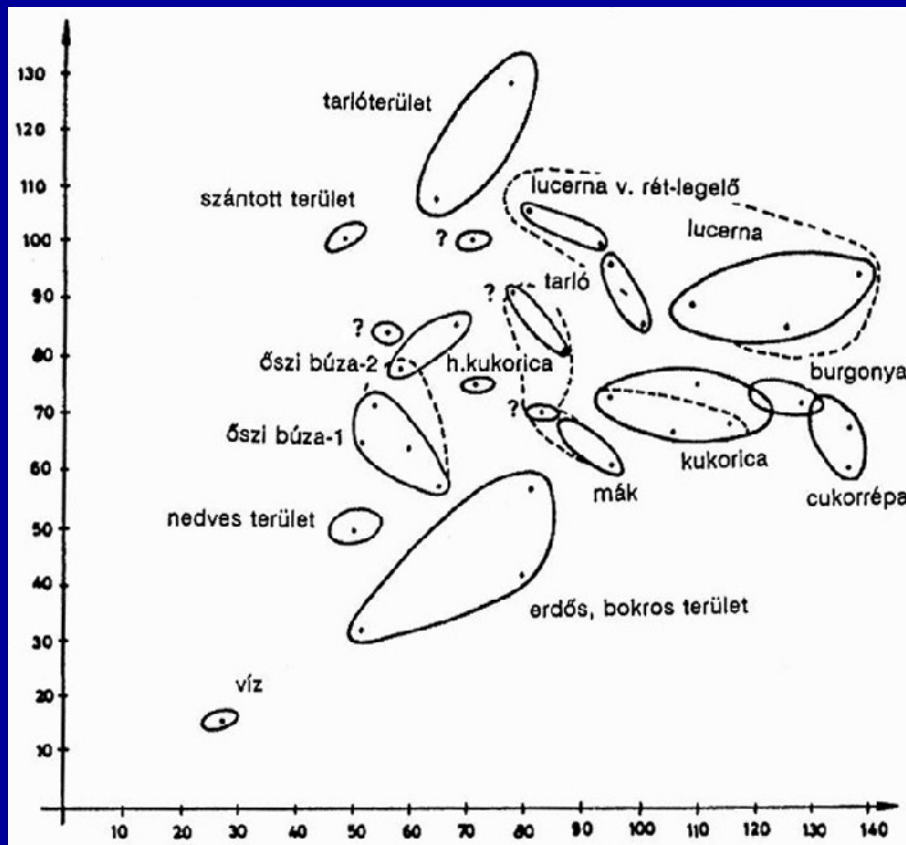


Egy tematikus osztályon belül az adatok természetes csoportjai a clusterek

- az eloszlás magyarázata, hogy *az illető kategória több változatban, többféleképpen sugározva van jelen a földfelszínen.*
- ezért az egyes eljárásokban a reprezentatívnak gondolt mintát kategóriánként cluster-kereső eljárásnak vetik alá.

A lehetséges viszonyok:

- egy spektrális adatosztály megfelel egy tematikus osztálynak (igen ritka)
- több spektrális adatosztály „épít fel” egy tematikus célosztályt (leggyakoribb)
- egy spektrális adatosztály több tematikus célosztályban is fellép (ezek okozzák az osztályozási hibákat)
- valamely spektrális alosztály lényegében egyetlen tematikus osztályhoz sem köthető



Egy Landsat TM spektrális adatosztályozása után
az egyes clusterek és tematikus osztályok elhelyezkedése

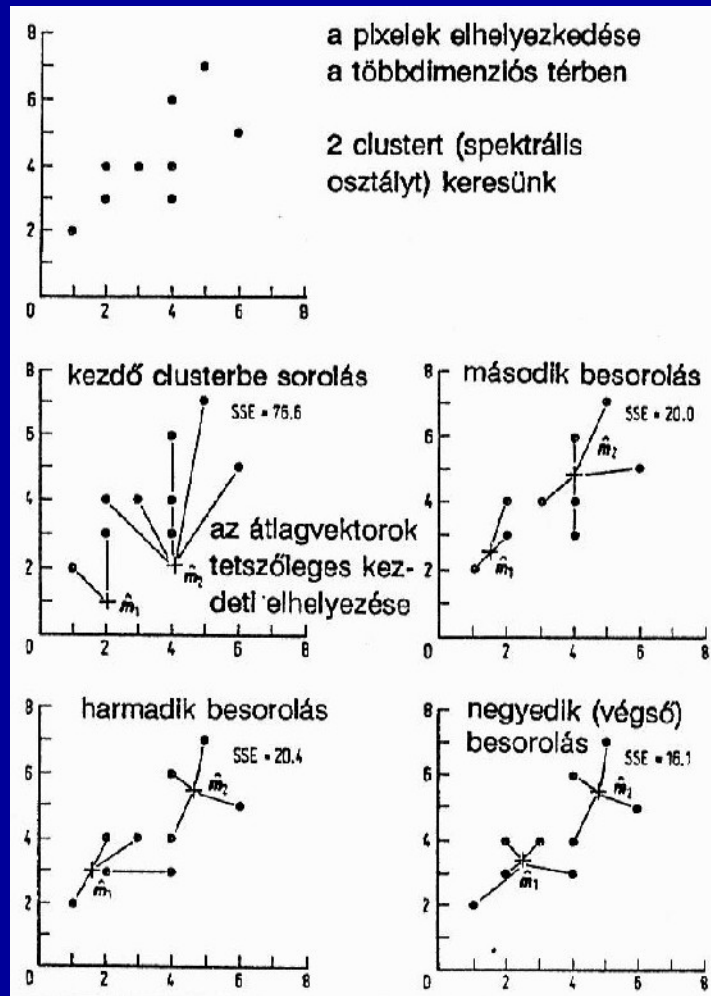
Néhány cluster-kereső eljárás áttekintése, az eljárások kiindulási és eredményadatai

- Az **ISODATA** cluster-kereső eljárás célja az egymáshoz közel elhelyezkedő képpontok megtalálása, tehát, hogy a clusterközéppontok és a clusterek képpontjai távolságának az összege:
$$SSE = \sum_{k \in [1..K_f]} \sum_{\underline{x} \in C_k} (\underline{x} - \mu_k)^2$$
a lehető legkisebb legyen az adott darabszámú cluster (K_f) mellett.

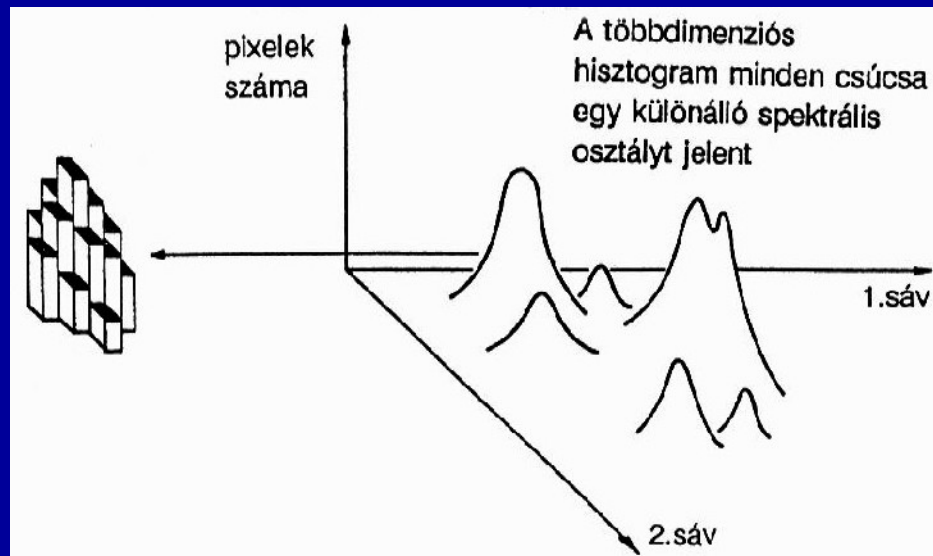
Az eljárás lépései:

1. megfelelő számú kezdeti clusterközéppont kiválasztása
2. minden képpontot a hozzá legközelebbi clusterhez sorolunk be
3. kiszámítjuk az új középpontokat
4. megvizsgáljuk a clusterek változását; szükség szerint → 2.
5. kialakultak a csoportok

Az ISODATA iteratív cluster-kereső eljárás lényege



- **Több dimenziós hisztogramok elemzése:**
ezek az eljárások kis sávszámra működnek hatékonyan



A hisztogramok helyi maximumai környezetének megkeresését végzik egyes clusterkereső eljárások

- **A gráfelméleti módszer:**

a képpont-intenzitások mindegyike mindegyik másikkal össze van kötve (teljes gráf), és az élek hossza az összekötő képpont-vektorok távolsága. Ebből kiválasztható egy minimális feszítőfa. Utána: a leghosszabb élek elhagyása



Cluster-keresés minimális feszítőfa módszerrel

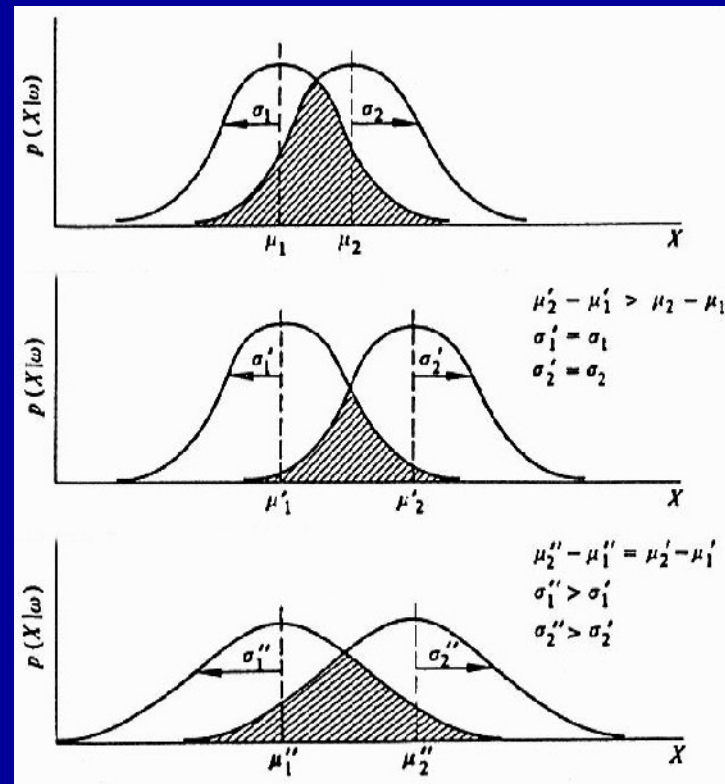
A spektrális adatosztályok átfedésének, távolságának mérése, a tematikus osztályozás hibáinak előrejelzése

A spektrális adatosztályok önmagukban nem fednek át!

A relatív gyakoriság-függvényt normális eloszlással közelítjük, amelyek viszont bizonyos mértékben átfednek.

Az adatosztályok átfedése, és így az osztályozási hiba függ:

- az átlagos távolságtól, és
- a szórástól



Az átfedések mérésén alapulnak az alábbi távolságdefiníciók:
(p: sűrűségfüggvény; integrálás a teljes intenzitástérre!)

Divergencia:

$$D(k, l) = \int_{\underline{x}} [p(\underline{x}|\omega_k) - p(\underline{x}|\omega_l)] \ln \frac{p(\underline{x}|\omega_k)}{p(\underline{x}|\omega_l)} d\underline{x}$$

és a gyakran használt mérték a transzformált divergencia:

$$D_T(k, l) = 2 * \{1 - \exp(-\frac{D(k, l)}{8})\}$$

- **Jeffries-Matusita (JM) távolság:**

$$J(k, l) = \int_{\underline{x}} [\sqrt{p(\underline{x}|\omega_k)} - \sqrt{p(\underline{x}|\omega_l)}]^2 d\underline{x}$$

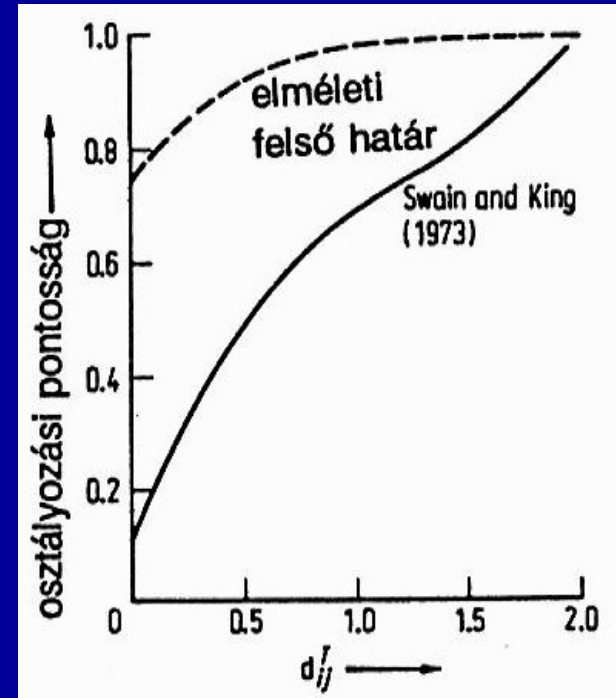
Egyéb távolságmértékek:

- Bhattacharyya (Jeffries-Matusita, normális eloszlások esetén)
- Mahalanobis (pont és osztály közötti távolság)

Távolságmértékek felhasználása:

- Spektrálisan kiterjedt tematikus osztályok szétbontása alosztályokra
- Tematikus osztályok felépítése spektrális alosztályokból
- Tematikus osztályok keveredésének vizsgálata, hibaelőrejelzés:

Az osztályozási pontosság és az adatosztályok távolságának összefüggése. A felső határt elméleti, az alsót gyakorlati becsléssel kapták.



A tematikus osztályozás pontosságvizsgálata

- a tematikus térképkészítéshez elkerülhetetlenül hozzátartoznak a tematikus osztályozási hibák!
- elengedhetetlen az osztályozási pontosság ismerete
- a térképre vitt és bedigitalizált földi referencia-adatok összevetése a tematikus eredménnyel
- ebből kapjuk:
 1. tévesztési mátrix
 2. hibatérkép

- A tévesztési mátrix: fontos eszköz a képelemzésben

a	az osztályozás eredménye									pix.	hiba	találat%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
t	1	706	28	0	0	0	0	10	6	750	44	94
e	2	10	389	0	0	0	0	4	22	425	36	92
o	3	0	0	184	4	0	3	0	3	194	10	95
n	4	0	0	0	371	46	2	0	0	419	48	88
s	5	0	0	0	29	370	21	0	60	480	110	77
y	6	9	0	0	0	4	802	0	46	861	59	93
z	7	0	0	27	0	0	0	907	0	989	82	92
l	8	11	0	1	45	117	45	0	280	506	226	55

Osztályozási pontosság vagy tévesztési táblázat egy Landsat MSS képrészlet osztályozásából

Jelkulcs: 1-búzatarló (talaj),
4-kukorica,
7-cukorrépa,

2-búza,
5-kukorica,
8-település,

3-kukorica,
6-kukorica,
9-nem felismert

- A tévesztési mátrix: fontos eszköz a képelemzésben

	winter wheat	spring barley	winter barley	alfalfa	other	Sum
winter wheat	994	19	2	0	63	1079
spring barley	6	244	0	0	57	307
winter barley	8	0	329	0	7	344
alfalfa	0	0	2	37	32	71
other	6	4	0	2	407	419
Sum	1015	267	333	39	566	2220
overall	91%					
kappa	86%					
	Hellden	Short	H-S average			
winter wheat	95%	90%	93%			
spring barley	85%	74%	80%			
winter barley	97%	94%	96%			
alfalfa	68%	51%	59%			

A tematikus osztályozás pontosságvizsgálata

- A tévesztési mátrix
 - soraiba a **referenciaosztályok** (tényleges osztályok) képpontjainak osztályozás utáni eloszlása kerül
 - **oszlopai** a besorolás **eredményeként kialakult osztályok** referenciaosztályok szerinti eloszlását mutatják(Vagy fordítva, de egy alkalmazáson belül legyünk következetesek!)
 - a főátlón kívüli elemek jelzik a hibás besorolást
 - a sorok összege a kategória referenciaképpontjainak száma
 - az oszlopoké az eredményben megjelenő képpontszám
- A **hibatérkép**: különböző tónusok jelzik a téves és a jó osztályozásokat. Gyakran a tematikus osztályozás előkészítésének fogyatékoságait is megmutatja

Területi mintavételezés a nagy területek távérzékeléses megfigyelésében, tanuló- és tesztterületek

- a célkategóriák spektrális jellemzőit egy-egy területi mintából számítjuk.
- az egyes célkategóriák földfelszíni elemi spektrálisan jelentősen eltérhetnek.
- ezek reprezentatívak, ha az összes környezeti tényezőt felölelik.
- a célterület 2-4%-át használjuk referenciaként.
- a referenciaterületek kiválasztása rendkívül fontos és kritikus lépés!
- a referencia-területeket két részre osztjuk: tanuló- és tesztterületek

A távérzékelte felvételek tematikus kiértékelésének lépései a különböző alkalmazásokban

1. A célkitűzés megfogalmazása
2. A feladat elemzése, modellalkotás, tervkészítés
3. A felvételek kiválasztása
4. A felvételek közös térképi rendszerhez illesztése
5. A felvételek átfogó statisztikai vizsgálata, áttekintés, tájékozódás
6. Mintaterület kiválasztása
7. A szükséges referenciaadatok beszerzése
8. A tanulóterületek spektrális adatanalízise
9. Az adat- és tematikus osztályok összefüggéseinek megállapítása
10. A tematikus osztályok spektrális adatjellemzőinek összeállítása
11. A tematikus osztályozás elvégzése a tanulóterületre
12. A tematikus osztályozás kiterjeszthetőségének vizsgálata
13. A tematikus osztályozás elvégzése az egész régióra
14. Az eredmények megjelenítése képi, térképi és táblázatos formában