

**Térinformatikai és távérzékelési
alkalmazások fejlesztése**

**Távérzékelte felvételek
feldolgozása**

© 2016 Giachetta Roberto
groberto@inf.elte.hu
http://people.inf.elte.hu/groberto

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Műveletek csoportosítása

- A térinformatikai műveleteknek számos feladata
 - alapvető *térbeli műveletek* szabványosítottak (SFA)
 - általában a topológiai térben hajtódnak végre
 - távérzékelte felvételek feldolgozása során nem csak térbeli, de *spektrális (intenzitás) műveleteket* is végezhetünk
 - a térbeli műveletek esetén magát a képi tartalmat kell transzformálnunk
- A műveletek az eredmény képzése szempontjából lehetnek helyben dolgozó (*in-place*), vagy külön adathalmazba dolgozó műveletek (*out-place*)
 - a helyben feldolgozás nem minden esetben oldható meg

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Műveletek munkaterülete

- A raszteres műveletek csoportosíthatóak munkaterület (workspace) alapján:
 - *lokális*: egy képpontból egy képpontot állít elő
 - *fokális*: képpontok (adott sugarú) csoportjából egy képpontot állít elő
 - *regionális*: (szomszédos) képpontok csoportjából képpontok csoportját állítja elő
 - *globális*: munkaterülete a teljes kép (vagy a képi statisztika), amelyből a teljes eredményképet állítja elő
- A műveletek kapcsán megkülönböztethetjük még az egy sávon, illetve több sávon dolgozó algoritmusokat

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Műveletek munkaterülete

- A munkaterület az algoritmusok párhuzamosítása során játszik szerepet
 - sok esetben a műveletek párhuzamosíthatóak a konkrét algoritmus ismerete nélkül, munkaterület alapján
 - lokális és fokális műveletek bármely képpontra párhuzamosíthatóak
 - regionális esetben a művelet párhuzamosítható (egymást átfedő tartományokra), de a keletkezett információkat össze kell futtatni (pl. átfedő területek újrafeldolgozása)
 - globális esetben általában egyedi megközelítés szükséges

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Geometriai transzformációk

- Távérzékelte felvételek feldolgozásánál az előfeldolgozás és az utófeldolgozás során is szükséges lehet geometriai transzformációk végrehajtása
 - az előfeldolgozás során egyrészt geometriai hibák korrigálására, másrészt vetületi rendszerbe való transzformációra szolgálnak
 - a geometriai hibák forrásai:
 - a föld elhajlása és forgása a felvételezés közben
 - a szenzor véges pásztázási sebessége és nagy lefedett területe, szenzorhibák
 - a felvételező magassági, sebességi és pontossági eltérései

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Geometriai transzformációk

- A geometriai transzformációk legegyszerűbb csoportja a *lineáris*, vagy *affin transzformációk*:
 - lineáris leképezések segítségével hajthatók végre, azaz az $x \mapsto Ax + b$ hozzárendeléssel, ahol A a transzformációs mátrix, b az eltolási vektor
 - a kifejezés megadható mátrixtranszformációs alakban is (a b vektor elhanyagolható, ha nincs eltolás):

$$\begin{bmatrix} \vec{u} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & \vec{b} \\ 0, \dots, 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \vec{x} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Geometriai transzformációk

- elforgatás órajárással ellentétesen:

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$
, ahol θ az elforgatás szöge
- átméretezés (skalázás):

$$\begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix}$$
, ahol s_x a vízszintes, s_y a függőleges mérték
- ferdítés (nyírás) a vízszintes tengelyre:

$$\begin{bmatrix} 1 & k \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$
, ahol k az eltolás mértéke
- ferdítés (nyírás) a függőleges tengelyre:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ k & 1 \end{bmatrix}$$
, ahol k az eltolás mértéke

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 7

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Geometriai transzformációk

- A felvétel transzformációja több lépésben történik:
 1. transzformációs mátrix kiszámítása
 2. eredménykép méretének meghatározása a sarokpontok transzformációjával
 3. inverz transzformációs mátrix meghatározása
 4. eredménykép valamennyi képpontjához tartozó képpont(ok) meghatározása az inverz transzformációval, ez a *mintavételezés*
- A forráspont meghatározásakor a transzformáció nem garantált, hogy egész koordinátaértéket ad, ebben az esetben *interpolációt* kell végeznünk

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 8

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Geometriai transzformációk

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 9

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Geometriai transzformációk

- Pl. tegyük fel, hogy egy Landsat műholdfelvételt készítünk Sydney városáról, ekkor a következő geometriai korrekciókat kell végeznünk:
 - a műhold szkennereinek felvételező sajátossága miatt a függőleges felbontás 79 m-ről 56 m-re csökken a pásztázáskor, így függőleges ($\frac{79}{56} = 1.411$ -szeres) átméretezésre van szükség
 - a föld forgása miatt (0.056-os mértékű) vízszintes ferdtést alkalmazunk
 - a műhold 9°-os eltéréssel felvételez az északi-déli tájoláshoz képest, ezt forgatással korrigáljuk

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 10

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Geometriai transzformációk

- a föld elhajlás vízszintes átméretezéssel korrigálható a $\tan \theta / \theta$ képlettel, ahol θ a felvételt készítés szöge, ez megadható a vízszintes távolság (x), illetve a magasság (h) függvényében is:

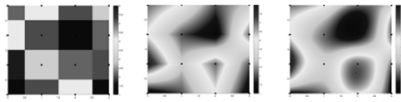
$$\begin{bmatrix} \tan \theta / \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{h}{x} \tan^{-1} \left(\frac{h}{x} \right) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$
- mivel a leképezést invertáljuk, ezért előbb kombináljuk a transzformációkat, majd inverzet számunk, pl. az

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.056 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1.411 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$
 invertálva az

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.056 \\ 0 & 0.709 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$
 leképezést adja

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 11

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Geometriai transzformációk

- Az interpolációs technikák figyelembe vehetik egy adott képpont rögzített környezetét (nem adatív), illetve tartalomfüggő környezetét (adatív)
 - pl.: 
 - lineáris (1)
 - kettős lineáris (2)
 - kettős köbös (4)
 - nemkívánatos hatások: pixelesedés (aliasing), elmosódás, túlképzés (overshoot, edge halo)
 - összetettebb transzformációk komplexebb interpolációkat követelnek meg (*spline*, *Lanczos*)

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 12

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
Geometriai transzformációk	
<ul style="list-style-type: none"> a kettős lineáris (<i>bilinear</i>) interpoláció: $I'(x, y_1) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} I(x_1, y_1) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} I(x_2, y_1)$ $I'(x, y_2) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} I(x_1, y_2) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} I(x_2, y_2)$ $I'(x, y) = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} I'(x, y_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} I'(x, y_2)$	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	13

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
Geometriai transzformációk	
<ul style="list-style-type: none"> a <i>Lanczos</i> interpoláció: $I'(x, y) = \sum_{v= y -a+1}^{ y +a} \left[\sum_{u= x -a+1}^{ x +a} [I(u, v) \cdot L_a(x - u, y - v)] \right]$	
ahol: a az interpolációs sugár, $L_a(x, y) = L_a(x) \cdot L_a(y)$ a 2D Lanczos kernel, $L_a(x) = \begin{cases} \text{sinc}(x) \cdot \text{sinc}\left(\frac{x}{a}\right) & \text{ha } -a < x < a \\ 0 & \text{különben} \end{cases}$ az 1D Lanczos kernel, $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	14

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
Georeferálás	
<ul style="list-style-type: none"> A távérzékelte felvételek kezdetben csak képi koordinátákkal rendelkeznek, ehhez társíthatóak a földrajzi koordináták a képi koordináta-rendszer megfeleltetését a földrajzi koordináta-rendszernek <i>georeferálás</i>nak nevezzük a földfelszíni koordinátákat kontrollpontok segítségével társíthatjuk a képhez a kontrollpontokat olyan pozíciókra definiáljuk, amelyeknek ismert a földrajzi koordinátája 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	15

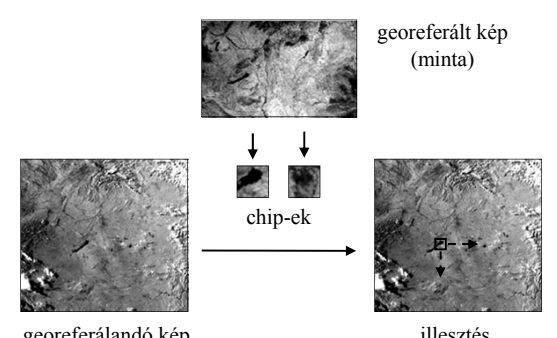
Távérzékelte felvételek feldolgozása	
Georeferálás	
<ul style="list-style-type: none"> A képi koordináta (x, y) és a földrajzi koordináta (u, v) megfeleltetése esetén a transzformációs mátrixot számítanunk kell ennek közelítő megoldását adjuk meg interpolációs polinom formájában: $(x, y) = F(u, v)$, ahol F adott fokszámú polinom, amelynek az együtthatóit kell meghatároznunk a leképezést felbontjuk vízszintes és függőleges irányra, és külön számoljuk a leképezést: $x = F_x(u, v)$, $y = F_y(u, v)$ a polinom fokszáma meghatározza, minimum hány kontrollpont szükséges a leképezéshez (pl. másodfokú polinom esetén 3, harmadfokú esetén 6, ...), általában a harmadfokú közelítés elég pontos 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	16

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
Georeferálás	
<ul style="list-style-type: none"> pl. a másodfokú transzformáció vízszintes leképezése leírható $A\vec{c} = \vec{x}$ alakban n kontrollpontra, ahol $A = \begin{bmatrix} 1 & u_1 & v_1 & u_1^2 & v_1^2 & u_1 v_1 \\ & & & \vdots & & \\ 1 & u_n & v_n & u_n^2 & v_n^2 & u_n v_n \end{bmatrix}, \vec{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \text{ és}$ $\vec{c} = [c_1 \quad \dots \quad c_6]$ a keresett együtthatók, az egyenlet megoldható Gauss-eliminációval, LU felbontással, bázis transzformációval, ...	
<ul style="list-style-type: none"> számíthatunk (másodfokú) interpolációs hibát: $\sum_{i=1}^n [(F_x(u_i, v_i) - x_i)^2 + (F_y(u_i, v_i) - y_i)^2]$	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	17

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
Georeferálás	
<ul style="list-style-type: none"> Amennyiben nem definiálhatóak kontrollpontok, használhatunk a területet (részben) lefedő georeferált felvételeket a kontrollpontokat mintaillesztéssel választjuk ki a két felvételen megfelelő részképek illeszkedésének keresésével (<i>chip-matching</i>) a részképeket (chip-eket) úgy választjuk ki, hogy jól differenciált képrészeket tartalmazzanak (pl. szórás alapján) a részképeket végigfuttatjuk a georeferálandó felvételen, a legjobb illeszkedési pontokat választjuk ki kontrollpontnak mivel nagyobb a tévedés esélye, érdemes sok kontrollpontot használni, és kiválogatni a legjobbakat 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	18

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Georeferálás



georeferált kép (minta)

chip-ek

georeferálható kép

illesztés

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 19

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Spektrális műveletek

- Spektrális műveletek során a kép intenzitásértékeit módosítjuk, amelyhez alapvető információ a kép *spektrális*, illetve *radiometriai felbontása*
- a spektrális felbontás megadja, a képi spektrum (10 nm és 300 μm hullámhossz között) mely tartományaiban tárol információkat
- a radiometriai meghatározza, hogy az intenzitás milyen tartomány értékeit veheti fel
 - pl.: 8 bites felbontás esetén $2^8 = 256$ érték lehet
 - lehetőség van a felbontás megváltoztatására az eredeti (R) és az új felbontás (R') figyelembevételével:

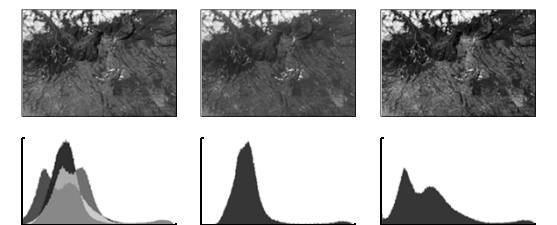
$$I'(x, y) = I(x, y) \cdot 2^{R' - R}$$

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 20

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Hisztogram

- Alapvető raszteres képi statisztika a *képi hisztogram*, amely a radiometriai felbontásnak megfelelő skálán megadja, mely intenzitásértékekből mennyi található az adott spektrumtartományban



ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 21

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Hisztogramműveletek

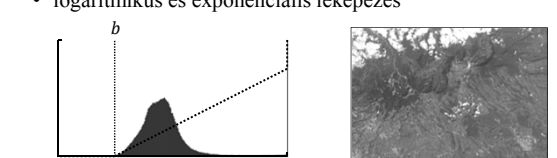
- A leggyakoribb intenzitás transzformációk a távérzékelésben:
 - *kontrasztfokozás (contrast enhancement)*: a pontok intenzitás-értékei közötti különbségek növelése, főleg a képi hisztogram alapján
 - *küszöbölés (thresholding)*: fekete-fehér kép előállítása egy adott küszöbnél történő szétválasztással
 - *szomszédsági, vagy konvolúciós műveletek (neighbourhood operations)*: egy adott méretű konvolúciós mátrixszal való lineáris átképzése a képpontoknak
- A végrehajtás során mindig az intenzitástartományban kell maradnunk ($0 \dots 2^R - 1$), ezért a túlfutó értékeket megvágjuk

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 22

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Hisztogramműveletek

- *Függvény által definiált leképezés*: az intenzitásértékeket a megadott függvény szerint képezzük le az új tartományba
 - lineáris leképezés: $I'(x, y) = aI(x, y) + b$
 - logaritmikus és exponenciális leképezés



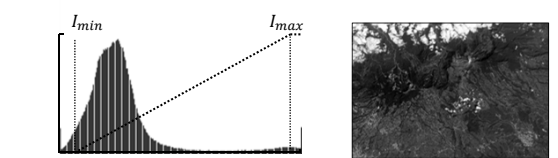
- *Pontenkénti leképezés*: kontrollpontok segítségével adjuk meg a leképezést, közöttük lineáris átmenetet alkalmazunk

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 23

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Hisztogramműveletek

- *Hisztogram széthúzás (saturating linear enhancement)*: a hisztogram tartományát étképezzük a teljes tartományra (lehetővé teszi, hogy a kép a lehető legkontrasztosabb legyen információvesztés nélkül)

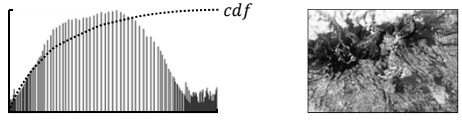
$$I'(x, y) = \frac{I(x, y) - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \cdot 2^R$$


ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 24

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Hisztogramműveletek

- **Hisztogram kiegyenlítés:** a hisztogram széthúzása oly módon, hogy a sűrűbb területek nagyobb tartományt öleljenek át
 - ehhez szükségünk van a hisztogram kumulatív eloszlásfüggvényére (*cdf*): $cdf(x) = \sum_{i=0}^x \frac{h(i)}{N}$
 - ez alapján számolható a leképezés:

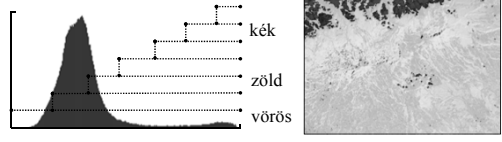
$$I'(x, y) = \frac{cdf(I(x, y)) - cdf(I_{min})}{cdf(I_{max}) - cdf(I_{min})} \cdot 2^R$$



ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 25

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Hisztogramműveletek

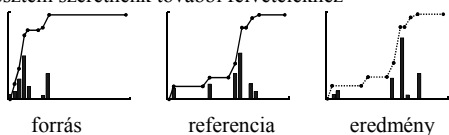
- **Sűrűség szeletelés (density slicing):** adott tartományok egy értékre való leképezése, ami történhet
 - **fekete-fehér tartományba,** ekkor lényegében egy diszkrét kontrollpontos leképezést definiálunk
 - **színes tartományba,** ha az egyes tartományokhoz színértékeket rendelünk, ekkor kapjuk az úgynevezett **pszeudoszínezett** képet



ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 26

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Hisztogramműveletek

- **Hisztogram illesztés:** a hisztogramértékek illesztése egy másik (referencia) hisztogramhoz
 - olyan leképező függvényt (*M*) kell keresnünk, amelyre a kumulatív eloszlásfüggvény értékei egyeznek, tehát ha $cdf_I(i_I) = cdf_{ref}(i_{ref})$, akkor $M(i_I) = i_{ref}$
 - például akkor hasznos, ha egy felvételt geometriailag illeszteni szeretnénk további felvételekhez



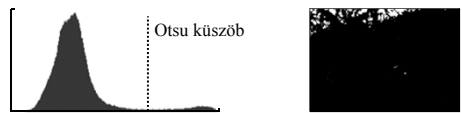
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 27

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Hisztogramműveletek

- A **küszöbölés** során egy adott küszöbérték segítségével választjuk szét az intenzitásértékeket két osztályra
- A küszöbölés speciális változata az **Otsu küszöbölés**, ahol az osztályon belüli varianciát (σ_w^2) minimálisra vesszük:

$$\min_t \sigma_w^2(t) = \min_t [\omega_1(t)\sigma_1^2(t) + \omega_2(t)\sigma_2^2(t)]$$
- ehelyett az osztályok közötti varianciát maximalizáljuk:

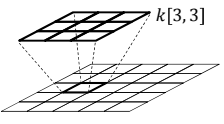
$$\max_t \sigma_B^2(t) = \omega_1(t)\omega_2(t)[\mu_1(t) - \mu_2(t)]^2$$



ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 28

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Konvolúciós szűrések

- A szomszédsági, vagy konvolúciós szűrések során egy adott pixel értékét befolyásoljuk a szomszéd pixelek értékei alapján
 - ehhez szükségünk van egy **konvolúciós mátrixra (kernel)**, amely megadja, milyen mértékben vesszük figyelembe a szomszédos képpontokat
 - a mátrix alatt a középső értéket transzformáljuk
 - a kernel mérete mindig páratlan ($k[2n - 1, 2n - 1]$, $n > 1$), és a mátrix értékei mellett tartalmazhat egy osztótényezőt (*d*, ált. $d = (2n - 1)^2$), valamint egy additív tényezőt (*a*, ált. $a = 0$)

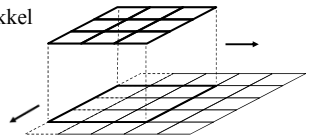


ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 29

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Konvolúciós szűrések

- a művelet során mindig a kernel alatti középső képpont intenzitásértékét befolyásolja a szomszédos értékek alapján:

$$I'(x, y) = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^{2n-1} \sum_{j=1}^{2n-1} I(x - n + i, y - n + j) \cdot t[i, j] + a$$
- a konvolúciós mátrixot lineárisan lefuttatjuk minden képpont felett, a képszélek mentén a szélső értékekkel kiterjesztjük a képet



ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 30

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Konvolúciós szűrések

- *Élsimítás, homályosítás (smoothing, low pass filtering):* részletek és képzaj eltüntetésére
 - *lineáris simítás:* az értékek átlagát vesszük
$$I'(x, y) = \frac{1}{(2n-1)^2} \sum_{i=1}^{2n-1} \sum_{j=1}^{2n-1} I(x-n+i, y-n+j)$$
- *medián simítás:* a kernel alatti értékek mediánját vesszük, jobban megtartja az éleket, és jobban eltünteti a képzajt
- *Gauss simítás:* az értékeket normális eloszlással (Gauss függvényvel) simítjuk:

$$t(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 31

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Konvolúciós szűrések

- a szűrők paraméterezhetőek egy w középérték súlytényezővel:

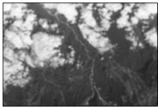
$$\frac{1}{w+8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & w & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{w+12} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & w & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$
 lineáris simítás Gauss simítás
- *Élesítés (sharpening, high-pass filtering):*
 - általában simítás alapján hozzuk létre, a simított kép és az eredeti kép különbségét hozzáadjuk az eredeti képhez
 - két bevett formája a középérték eltávolítás (*mean removal*), illetve a élesítő maszkolás (*unsharp masking*)

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 32

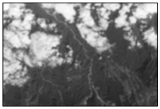
Távérzékelte felvételek feldolgozása
Konvolúciós szűrések

$$\frac{1}{w-8} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & w & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{w-8} \begin{bmatrix} 0 & -2 & 0 \\ -2 & w & -2 \\ 0 & -2 & 0 \end{bmatrix}$$

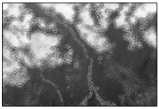
középérték eltávolítás élesítő maszkolás



lineáris simítás



Gauss simítás



élesítő maszkolás

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 33

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Konvolúciós szűrések

- *Éldetektálás (edge detection):* a nagy kontrasztkülönbségű szomszédos területek kiemelésére
 - *lineáris éldetektálás:* az értékek inverzét vesszük figyelembe egyik, illetve másik oldalon
 - így az adott irányba eső kontrasztátmeneteket detektálhatjuk, ezért többször kell alkalmaznunk a kernelt más irányokkal, az eredményt pedig összegezzük

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

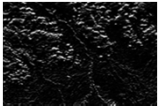
horizontális detektálás diagonális detektálás

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 34

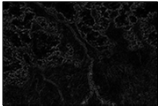
Távérzékelte felvételek feldolgozása
Konvolúciós szűrések

- vannak több irányba egyszerre működő éldetektálók is (kevésbé hatékonyak, de kisebb a műveletigényük):

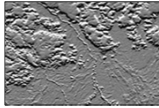
$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 4 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} + 2^{R-1}$$
 Laplace kernel Emboss kernel



lineáris



Laplace



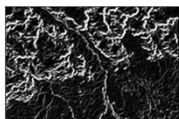
Emboss

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 35

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Konvolúciós szűrések

- vannak kétszeres futtatással alkalmazható éldetektálók is

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix}$$
 Sobell Prewitt Kirsh
- először vertikálisan, majd horizontálisan futtatjuk a leképezést, a keletkezett képeket átlagoljuk
- jobb eredményt biztosít, mint az egyszer futtatott éldetektálók, de nem igényel annyi végrehajtást, mint a lineáris éldetektálás



Prewitt

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 36

Távérzékelte felvételek feldolgoása
Konvolúciós szűrések

- az éldetektálás elvégezhető nagymértékű élesítés segítségével is
- az éldetektálás segítségével lehet előzetes intenzitás transzformációk elvégzése, pl. Gauss simítás után tisztább éleket kapunk
- *Vonaldetektálás (line detection)*: vonalszerű alakzatok felismerésére, lényegében éldetektálás, ahol közvetlenül szomszédos éleket szeretnénk felismerni

$$\begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} + 2^{R-1}$$

horizontális detektálás

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \\ 2 & -1 & -1 \end{bmatrix} + 2^{R-1}$$

diagonális detektálás

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 37

Távérzékelte felvételek feldolgoása
Légköri reflektancia

- A távérzékelte felvételekre számolható reflektancia, amely a földet érő sugárzás, és a föld által visszavert sugárzás aránya
- amennyiben az érzékelő a légkör felett van (műhold), számolható a *légköri reflektancia (top of atmosphere reflectance)*
 - magában foglalja a felhők és gázok által kibocsájtott sugárzást
 - számításának módja érzékelőnként, illetve az érzékelés időpontjával változik
- számítható *földfelszíni reflektancia (surface reflectance)*, amelyet a légköri jelenségek nem befolyásolnak
 - adott modellek alapján

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 38

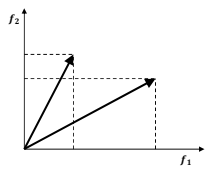
Távérzékelte felvételek feldolgoása
Spektrális indexek

- A spektrális indexek olyan spektrális tartományok alapján kalkulált értékek, amelyek adott felszínborítási jellemzőket tudnak előtérbe hozni, pl.:
 - vegetációs (NDVI): $\frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$
 - termőföld (NDSI): $\frac{(SWIR-NIR)}{(SWIR+NIR)}$
 - állóvizek(NDWI): $\frac{(SWIR-RED)}{(SWIR+RED)}$
 - termőföld igazított vegetációs (SAVI): $\frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED+L)} \cdot (1+L)$, ahol $L \in [0 \dots 1]$ a korrekciós mérték

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 39

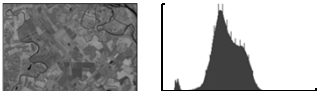

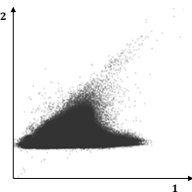
Távérzékelte felvételek feldolgoása
Multispektrális tér

- A hisztogram sok esetben nem elegendő képi statisztika, mivel az egyes sávokat egymástól függetlenül kezeli
- Felépíthetünk egy olyan koordinárendszer, amelyben a két tengely értékei az egyes sávok intenzitásértékei lesznek, és ebben helyezük el az egyes képpontok értékeit, ez a *multispektrális térnek (multispectral space)*
 - a képpontok, mint *spektrális vektorok* jelennek meg, amelyek az intenzitásértékeknek megfelelő pontba mutatnak a koordinárendszerben




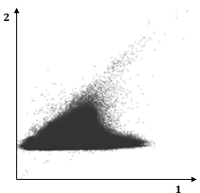
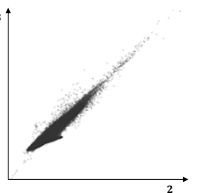
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 40

Távérzékelte felvételek feldolgoása
Multispektrális tér

- Pl.:
 -  1. sáv értékei
 -  2. sáv értékei
 -  1. és 2. sáv által meghatározott multispektrális tér

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 41

Távérzékelte felvételek feldolgoása
Multispektrális tér

- Pl.:
 - 
 -  2
 -  3

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 42

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Multispektrális tér

- Alapvető statisztikai értékek a multispektrális térben:
 - átlagvektor (\mathbf{m}), amely megfelel a várható értéknek:

$$\mathbf{m} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{x}_k$$

ahol K a képpontok száma, \mathbf{x}_k egy képpont vektora

- kovariancia mátrix (Σ_x), amely megadja a vektorok együttmozgását, azaz összefüggésük mértékét:

$$\Sigma_x = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (\mathbf{x}_k - \mathbf{m})(\mathbf{x}_k - \mathbf{m})^t$$

(ha 0, akkor a két sáv független egymástól)

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Multispektrális tér

- korrelációs mátrix (R), amely megadja a vektorok relatív összefüggését:

$$\forall i, j \in [1..n]: R_{ij} = \frac{\sum x_{ij}}{\sum x_{ii} \sum x_{jj}}$$

ahol n a sávok száma (általában 1 értékeket kapunk, míg a további értékek megadják az egyes sávok korrelációját)

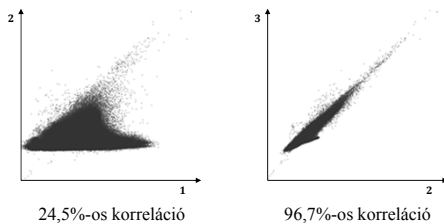
- pl.:

$\Sigma_x = \begin{bmatrix} 1.9 & 1.1 \\ 1.1 & 1.1 \end{bmatrix}$ esetén $R = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.761 \\ 0.761 & 1.0 \end{bmatrix}$, azaz a korreláció mértéke 76,1% a két sáv között, azaz jelentős az összefüggőség (az egyik sáv sötét pontjai a másikon is sötétként jelennek meg, stb.)

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Multispektrális tér

- A sávok összefüggősége a spektrális térben is látható, minél nagyobb az összefüggőség két sáv között, az értékei annál inkább tartanak össze, és alkotnak az identitással párhuzamos egyenest, pl.:



Távérzékelte felvételek feldolgozása

Multispektrális transzformációk

- Amikor intenzitás transzformációt végzünk a felvételen, akkor a spektrális tulajdonságait ezzel elronthatjuk
 - mivel a sávok nem függenek egymástól (kivéve, ha a korrelációs érték 0), egy sáv értékeiben az elmozdulás magával vonzza a másik sáv értékeit is, emiatt a spektrális tér eltorzul, és ezzel jelentősen befolyásolja a későbbi elemzést (pl. tematikus osztályozást)
 - ezért bármilyen intenzitás transzformáció előtt célszerű megszüntetni a korrelációt, amit úgy tehetünk meg, hogy a spektrális térünk koordináta-rendszerét transzformáljuk úgy, hogy az összefüggőség 0-ra redukálódjon

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Multispektrális transzformációk

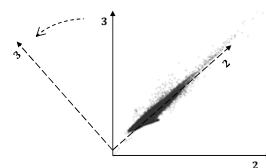
- A spektrális koordináta-rendszer transzformációját nevezzük *multispektrális transzformációnak*
 - ez egy lineáris transzformáció, amelynek célja a koordináta-rendszer megváltoztatása úgy, hogy a sávok függősége változott (általában teljesen eltűnjön)
 - a transzformáció mátrix (G) segítségével adható meg, amelyet minden képpontra alkalmazhatunk, így az \mathbf{x} vektorokból előállítja az új koordináta-rendszer \mathbf{y} vektorait:

$$\mathbf{y} = G\mathbf{x}$$
 - a leképezés nem mindig dimenziótartó, előfordulhat, hogy csökkenti a sávok számát, és így a spektrális tér dimenzióját

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Multispektrális transzformációk

- A multispektrális transzformációt *főkomponens transzformáció* segítségével hajtjuk végre, amelynek keretében elforgatjuk úgy a koordináta-rendszert, hogy a korreláció megszűnjön
 - a főkomponensek az új koordináta-rendszer tengelyei
 - a vektorok az eredeti helyükön maradnak, így az összefüggés az új rendszerben már nem fog jelentkezni



Távérzékelte felvételek feldolgozása
Multispektrális transzformációk

- A G transzformációs mátrix helyett a transzponáltját (D) számítjuk, mivel ez diagonális:

$$y = Gx = D^t x$$
- ebből meghatározható a két kovariancia mátrix kapcsolata:

$$\Sigma_y = D^t \Sigma_x D$$
- mivel az új koordináta-rendszer kovariancia mátrixának szintén diagonálisnak kell lennie, ez meghatározható az eredeti kovariancia mátrix sajátértékeivel:

$$\Sigma_y = \begin{bmatrix} \lambda_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \lambda_n \end{bmatrix}$$
 ahol $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n$ a Σ_x sajátértékei

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 49

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Multispektrális transzformációk

- a sajátértékek alapján a transzformációs mátrix vektorai már kiszámíthatóak:

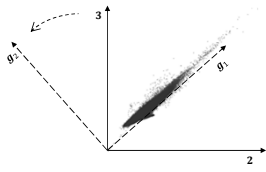
$$\forall i \in [1..n]: [\Sigma_x - \lambda_i I] g_i = 0$$
 ahol I az identitásmátrix, $g_i = d^t_i$ a transzformációs mátrix egy vektora
- az egyenletrendszert úgy kell megoldani, hogy a G mátrix ortogonális legyen, amiatt a sajátvektorokat normalizálni kell:

$$\forall i \in [1..n]: \sum_{j=1}^n g_{ij}^2 = 1$$

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 50

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Multispektrális transzformációk

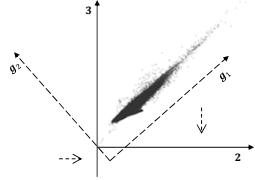
- Pl. 2 dimenziós esetben $g_i = \begin{bmatrix} g_{1i} \\ g_{2i} \end{bmatrix}$, és 2 két ismeretlen, ám nem független egyenletrendszert kapunk, a normalizálás miatt azonban ezek kiegészülnek a $g_{1i}^2 + g_{2i}^2 = 1$ egyenletekkel
- A kapott g_1 és g_2 vektorok adják az új koordináta-rendszer tengelyeit, a $G = D^t = [g_1 \ g_2]^t$ mátrixot alkalmazhatjuk minden spektrális vektorra



ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 51

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Multispektrális transzformációk

- Előfordulhat, hogy a transzformáció miatt bizonyos értékek függőlegesen a negatív tartományba esnek, ennek kiküszöbölésére eltolhatjuk a transzformáció középpontját

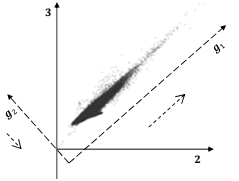


- az eltolás mértéke kiszámítható a legkisebb keletkezett érték alapján, és akár utólag, külön is elvégezhető

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 52

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Multispektrális transzformációk


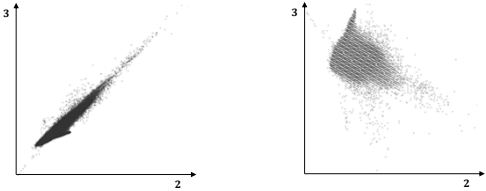
- Szintén előfordulhat, hogy az értékek túlesnek a koordinátatengely határain (pl. 8 bit esetén 255 fölöttiek), ekkor lineáris transzformációval (*saturating contrast enhancement*) alakíthatjuk át a koordináta-rendszert
- hasonlóan csökkenthetjük is a tengely méretét



ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 53

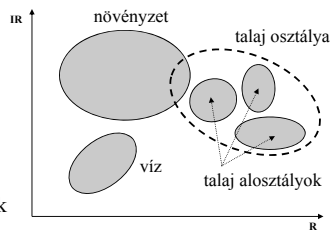
Távérzékelte felvételek feldolgozása
Multispektrális transzformációk

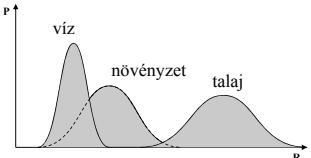
- Pl.:





ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 54

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
A tematikus osztályozás feladata	
<ul style="list-style-type: none"> A távérzékelés egyik fő feladata műholdfelvételek alapján a felszínborítás automatizált azonosítása, és olyan térképek előállítása, amelyekben a felszínalakokat külön-külön jelöljük <ul style="list-style-type: none"> a keletkezett térképeket <i>tematikus térképnek</i>, a besorolást elvégző eljárást <i>tematikus osztályozásnak</i> nevezzük a térképek gazdasági, pénzügyi folyamatok döntési alapjaként szolgálnak céljaink az osztályozással kapcsolatban: <ul style="list-style-type: none"> keves terepi információt igényeljen a valóságnak minél jobban megfeleljen a folyamatot minél nagyobb mértékben automatizáljuk 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	55

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
Osztályok a spektrális térben	
<ul style="list-style-type: none"> Az osztályozáshoz kihasználjuk, hogy a felszínalakok a különböző spektrális sávokban különböző értékeket produkál <ul style="list-style-type: none"> az értékeket az egyes sávok viszonylatában összevethetjük a spektrális térben az egyes intenzitás értékekhez rendelt tartományok a spektrális osztályok a besorolás nem mindig egyértelmű, mert egyes osztályok átfedhetnek egymást 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	56

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
Osztályok a spektrális térben	
<ul style="list-style-type: none"> A besoroláshoz figyelembe vesszük az osztályok valószínűségét is, normális eloszlást feltételezve <ul style="list-style-type: none"> azaz a tartomány középpontjában elhelyezkedő spektrális vektor sokkal valószínűbben tartozik az osztályba, mint a tartomány határvonalán elhelyezkedő vektor különösen a több osztályt is érintő vektoros esetén fontos, hogy a valószínűbb osztályba soroljuk a képpontot 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	57

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
A klaszteres módszerei	
<ul style="list-style-type: none"> A tematikus osztályozás két módon történhet: <ul style="list-style-type: none"> <i>felügyelt osztályozás (supervised classification)</i>: az osztályozás folyamata szakértői beavatkozással történik, pl. tanulóterület megadásával <i>felügyeletlen osztályozás (unsupervised classification)</i>: az osztályozás folyamata automatikusan történik, a paraméterek és az osztályok statisztikai becslésével 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	58

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
Az osztályozás folyamata	
<ul style="list-style-type: none"> A felügyelt osztályozás általában négy lépésből áll: <ol style="list-style-type: none"> A képpontokat intenzitásértékeik alapján besoroljuk a spektrális osztályokba, ezt a lépést <i>klaszterezésnek</i> nevezzük, az eredményt pedig <i>klaszterterképnek</i> Megadunk egy referenciaterületet (<i>tanulóterület</i>), amelynek tényleges felszínalakja ismert, ezeket a területeket megfeleltetjük a korábbi osztályoknak A megfeleltetés alapján elvégezzük a spektrálisosztályok besorolását tematikus osztályokba Egy másik referenciaterülettel (<i>teszterület</i>, vagy <i>ellenőrzőterület</i>) ellenőrizzük az eljárás pontosságát 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	59

Távérzékelte felvételek feldolgozása	
Klaszterezés	
<ul style="list-style-type: none"> Legyen a spektrális osztályok száma M, és jelölje őket $\omega_i, i \in [1..M]$ az osztályokat, míg x tetszőleges spektrális vektor (képpont), a klaszterezés során meghatározzuk, hogy x melyik ω_i osztályba tartozik A klaszterezés több módszerrel végezhető, a leggyakoribb a Maximum Likelihood becslés: <ul style="list-style-type: none"> megállapítjuk annak a valószínűségét, hogy egy x spektrális vektor milyen eséllyel esik ω_i spektrális osztályba $p(\omega_i x)$, ezt maximalizáljuk, vagyis: $x \in \omega_i, \text{ ha } \forall j \in [1..m], i \neq j: p(\omega_i x) > p(\omega_j x)$ 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	60

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Klaszterezés Maximum Likelihood módszerrel

- másként: $x \in \omega_i$, ha
 $\forall j \in [1..m], i \neq j: p(x|\omega_i)p(\omega_i) > p(x|\omega_j)p(\omega_j)$
 ahol $p(\omega_i)$ a spektrális osztály relatív mérete a képen,
 $p(x|\omega_i)$ pedig a tanulóterület alapján meghatározható
- mivel a normális eloszlás exponenciális alapon számol,
 logaritmikus alakra térünk át, legyen
 $g_i(x) = \ln(p(x|\omega_i)p(\omega_i)) = \ln(p(x|\omega_i)) + \ln(p(\omega_i))$
 ekkor a feladat leírható az alábbi alakban:
 $x \in \omega_i$, ha $\forall j \in [1..m], i \neq j: g_i(x) > g_j(x)$

Távérzékelte felvételek feldolgozása

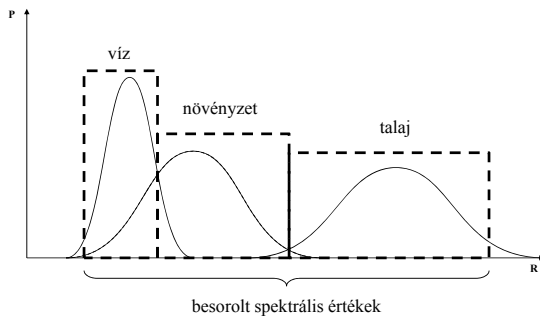
Klaszterezés Maximum Likelihood módszerrel

- behelyettesítve a normális eloszlást, ez a következő formára egyszerűsödik:
 $g_i(x) = -\ln|\Sigma_i| - (x - m_i)^t \Sigma_i^{-1} (x - m_i)$
 ahol m_i az átlagértékek vektora, Σ_i a kovarianciamátrix
- ez alapján minden képpont besorolódik a megfelelő kategóriába, ami nem célszerű, mert így a kevésbé valószínű pontok is
- a besorolásra osztályonként adható küszöbérték ($T_i, i \in [1..M]$), hogy a kevésbé valószínű képpontokat ne soroljuk be az osztályokba, pl. 95%-os korlát esetén:

$$T_i = -4.744 - \frac{1}{2} \ln|\Sigma_i| + \ln p(\omega_i)$$

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Osztályok a spektrális térben



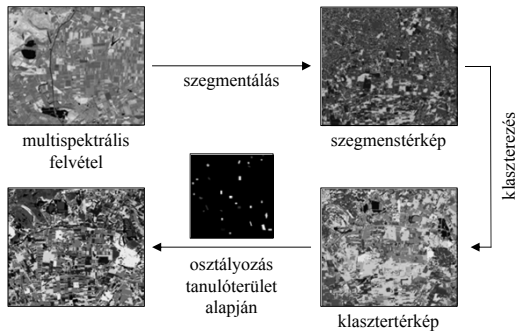
Távérzékelte felvételek feldolgozása

A szegmentálás szerepe

- A korábbi lépéseket megelőzendő bevezetünk egy újabbat, a *szegmentálást*, amely megadja a *szegmenstérképet*
- a szegmentálás a spektrálisan hasonló, szomszédos képpontokat gyűjti egy csoportba, a szegmensbe
- a szegmenstérképre szintén megadható a spektrális tér, ekkor a szegmens spektrális vektora a szegmens vektorainak
- ebben a spektrális térben végrehajtva a klaszterezés már figyelem már összevont területekre lesz alkalmazható, azaz nemcsak spektrális, hanem térbeli jellemzőket is figyelembe vesz, így jobb eséllyel kerülnek a tartományok ugyanabba az osztályba

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Az osztályozás folyamata



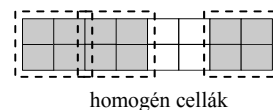
Távérzékelte felvételek feldolgozása

Szekvenciális csatolás alapú szegmentálás

- Szekvenciális csatolás módszere:
- 2 x 2-es területekről (*cellákról*) megvizsgálja, hogy homogénnek tekinthetőek-e, a homogenitást szórás segítségével ellenőrzi külön minden sávra:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)\bar{x}^2} \leq C_H$$

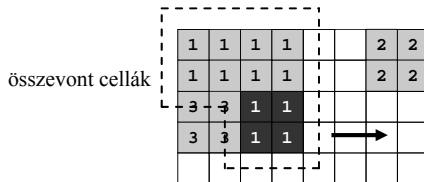
ahol C_H egy rögzített homogenitási korlát, $n = 4$ a képpontok száma, \bar{x} a képpontok átlaga



Távérzékelte felvételek feldolgozása

Szekvenciális csatolás alapú szegmentálás

- az eljárás felülről lefelé, balról jobbra halad a képen, és amennyiben egy cella homogén, megvizsgálja, hogy csatolható-e a tőle balra, illetve felfelé lévő cellához, vagy új szegmenseket kezd



Távérzékelte felvételek feldolgozása

Szekvenciális csatolás alapú szegmentálás

- az összevonási kritérium szintén számítható szórás alapján az úgynevezett *ANOVA-kritériumokkal*:

- legyen x egy n elemű, y egy m elemű minta, z a kettő összevonása, ekkor minden sávra kiszámolhatjuk:

$$A_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad A_y = \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2$$

$$B_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{z})^2 \quad B_y = \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{z})^2$$

$$A = A_x + A_y \quad B = B_x + B_y$$

- majd meghatározott C_1 és C_2 korlátokra megállapítjuk az összevonási feltételeket:

$$(A/B)^{(m+n)/2} \geq C_1 \quad \text{és} \quad \left[\frac{(A_x/n)^{n-1} (A_y/m)^{m-1}}{(A/(n+m))^{n+m-2}} \right]^{1/2} \geq C_2$$

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Szegmentálási módszerek

- Legjobb összevonás alapú szegmentálás:
 - minden képpontot külön szegmensnek tekint, majd hasonlósági kritérium alapján a szomszédos szegmens-párokat összevonja
 - a hasonlóság megállapítható alkalmas távolságfüggvénnyel, pl. Jeffries-Matusita-távolság:

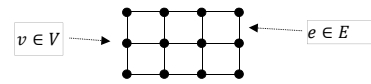
$$D_B(S_1, S_2) = \frac{1}{8} (m_1 - m_2)^t \left[\frac{\sum_1 + \sum_2}{2} \right]^{-1} (m_1 - m_2) + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{|\sum_1 + \sum_2|}{|\sum_1|^{1/2} |\sum_2|^{1/2}} \right]$$

ahol m_i az átlagértékek vektora, \sum_i a kovarianciamátrix

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Képek gráf alapú kezelése

- A képszegmentálás tekinthető gráfelméleti problémának is, mivel a kép könnyen reprezentálható egy rácsgráf segítségével

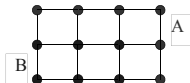


- a csúcsok a képpontok, vagy azok intenzitásértékei lesznek
- az élek költsége a szomszédos képpontok viszonyát (hasonlóságát, vagy különbségét) fejezi ki, pl.
 - *lineáris távolság*: $\omega(u, v) = -|I(u) - I(v)|$, ahol $I(u)$ az adott csúcs intenzitásértéke sávonként, vagy azok átlaga

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Képek gráf alapú kezelése

- *szórás alapú távolság*: $\omega(u, v) = e^{-\frac{(I(u)-I(v))^2}{\sigma^2}}$, ahol σ^2 a szórásnégyzet
- a szegmensek ekkor összefüggő részgráfok lesznek, pl.:



- két irányból végezhetjük az szegmentálást:
 - *összevonással*: a részgráfokat az összekötő élek mentén összevonjuk
 - *vágással*: alkalmas élsorozat mentén bontjuk a részgráfot két szegmensre

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Összevonás alapú szegmentálás

- Egy egyszerű összevonás alapú eljárás, amelyet a rácsgráfra alkalmazhatunk, hogy a szegmenseket (részgráfokat) heterogenitási vizsgálat alapján összevonjuk
 - a heterogenitást (*het*) a szegmens minimális feszítőfájában a maximális él súlyával adjuk meg (így az eljáráshoz elég lesz eltárolni a maximális él súlyát)
 - két szegmens összevonható, ha az újonnan keletkezett szegmens nem növeli jelentős mértékben a heterogenitást:

$$\min \left\{ \text{het}(A) + \frac{k}{|A|}, \text{het}(B) + \frac{k}{|B|} \right\} > \text{het}(A \cup B)$$
 ahol k egy küszöbérték
 - az összevont szegmensre elég az összekötő éleket vizsgálni

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Vágás alapú szegmentálás

- Alkalmazhatunk vágás alapú módszert is, ám a gráfok vágása általánosságban NP-teljes probléma, ezért transzformációkat kell végrehajtanunk, hogy polinomiális időben végrehajthassuk az algoritmust
- a vágás lehet nyílt, illetve zárt a gráfon belül:

- több vágás alapú eljárás van, pl. normált minimális vágás, minimális átlagsúly alapú vágás, minimális arány alapú vágás

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 73

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Minimális átlagsúly alapú vágás

- A vágás alapú eljárások a *normált vágás* fogalmán alapszik, ahol egy vágás költségét a benne szereplő súlyköltségek alapján tudjuk meghatározni:

$$Cut(A, B) = \sum_{u \in A, v \in B, (u,v) \in E} \omega(u, v)$$

- A *minimális átlagsúly* megállapításához a vágás költségét elosztjuk a benne szereplő élek számával:

$$Mcut(A, B) = \frac{Cut(A, B)}{\sum_{u \in A, v \in B, (u,v) \in E} 1}$$

- Ezt az értéket minimalizáljuk minden lehetséges vágásra:

$$\min_{A, B \subset V, A \cup B = V, A \cap B = \emptyset} Mcut(A, B)$$

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 74

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Minimális átlagsúly alapú vágás

- A feladatot átfogalmazzuk negatív egyszerű körök keresésére
- ehhez kialakítunk egy duális gráfot, ahol a csúcsok az eredeti rács középpontjaiban helyezkednek el, amelyek között ugyanúgy rácsként meghúzzuk az éleket, kiegészítve egy segédcúccsal (a kivezető éleknek)
- az élköltségek az eredeti gráfnak megfelelően alakulnak (annak az élnek a költségét veszi át, melyiket metszi)
- ezután az élköltségeket csökkentjük úgy, hogy egy negatív kör szerepeljen a duális gráfban (a csökkentés mértékét bináris kereséssel határozzuk meg), így a feladatunk ennek a negatív körnek a megkeresése lesz

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 75

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Minimális átlagsúly alapú vágás

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 76

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Minimális átlagsúly alapú vágás

- A feladatot ezután átfogalmazzuk minimális tökéletes illesztéssé, mivel arra már adható polinomiális megoldó algoritmus
- ehhez újabb transzformációt végzünk a gráfon:

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 77

Távérzékelte felvételek feldolgozása
Minimális átlagsúly alapú vágás

- Gráf egy illesztése (*matching*) olyan élek halmaza, amelyeknek nincs közös csúcspontjuk, ez akkor tökéletes (*perfect matching*), ha a gráf összes éle vagy benne van az illesztésben, vagy szomszédos vele, ezen illesztések közül keressük azt, ahol az élek összköltsége minimális
- Ez a feladat az *Edmonds* féle virág (*blossom*) algoritmussal $O(n^2 \cdot e)$ műveletigénnyel megoldható
- iteratíván páratlan hosszú köröket (virágokat) készít, amely az illesztésben bent lévő, illetve nem bent lévő váltakozó élsorozat (*alternating path*) tartalmaz
- ezen köröket kiegészíti, illetve összevonja minimális költségű élekkel, amíg lehetséges

ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése 78

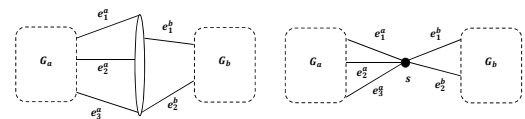
Távérzékelte felvételek feldolgozása

Minimális átlagsúly alapú vágás

- Eddig egy vágást tisztáztunk, a teljes algoritmus egynél sokkal többet fog alkalmazni, ezért minden esetben a transzformáció elvégzése költséges lenne, így a vágást a duális gráfok szintjén fogalmazzuk meg
 - a minimális (negatív) átlagsúlyú kört redukáljuk egy pontra, a körbe vezető élek így ebbe a pontba fognak vezetni
 - a pontot felbontjuk a két részgráfhoz vezető élek mentén, ezzel kialakítjuk a két részgráfnak megfelelő duális gráfokat, amelyekből párhuzamosan újra számíthatunk minimális köröket (pontosabban negatív köröket)
- Az iterációt egy adott mélységig hajtjuk végre, vagy amíg a részgráfok kellően homogének nem lesznek

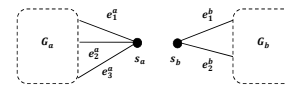
Távérzékelte felvételek feldolgozása

Minimális átlagsúly alapú vágás



minimális átlagsúlyú kör

kör összevonása egy pontra



gráf felbontása

Távérzékelte felvételek feldolgozása

Ellenőrzés és hibaszámítás

- A tematikus osztályozás utolsó lépéseként a teszterület alapján felépíthető egy mátrix (*tévesztési mátrix*)
 - értékei megadják, hogy hány olyan képpont található, amely az adott kategóriába került besorolásra az osztályozás során, illetve a teszterületen

		Osztályozás eredménye	
		1	2
Teszterület osztályai	1	3627	325
	2	936	6540

- az átlóban lévő értékek a jól osztályozott képpontok, ezek százalékos aránya adja meg az osztályozás pontosságát