

Tokaj-Hegyalja
Egyetem

Komputer grafika és képszerkesztés

5. Képszűrés alapjai

Képszűrés alapjai

- A képszűrés a képfeldolgozás egyik legfontosabb művelete
- A kép pixeleinek értékét valamilyen szabály alapján módosítjuk
 - annak érdekében, hogy a kép bizonyos tulajdonságait kiemeljük vagy elnyomjuk.
- A szűrés célja lehet például:
 - a zaj csökkentése,
 - az élek kiemelése,
 - a kép élesítése,
 - vagy éppen a részletek elmosása.
- A képszűrés alapgondolata:
 - egy adott pixel új értéke nemcsak a saját eredeti értékétől függ, hanem a környezetében található pixelek értékeitől is.
 - Tehát: a képet nem elszigetelt pontok halmazaként kezeljük, hanem egy összefüggő struktúraként
 - ahol a szomszédos pixelek között kapcsolat van. Ez a szemlélet alapvető változást jelent a pixel szintű feldolgozáshoz képest.

Képszűrés alapjai

- A legegyszerűbb szűrések közé tartoznak az úgynevezett **pontműveletek**
 - minden pixel külön-külön kerül feldolgozásra
 - pl. a fényerő növelése vagy a kontraszt módosítása
- Ezekkel szemben a valódi képszűrési eljárások (**térbeli szűrések**) már figyelembe veszik a szomszédos pixelek értékeit is
- A térbeli szűrések leggyakoribb megvalósítása:
 - egy kis méretű **mátrix**, az úgynevezett szűrőmaszk vagy **kernel** segítségével történik
 - ez a kernel egy tipikusan 3×3 , 5×5 vagy nagyobb méretű **súlymátrix**
 - Meghatározza, hogy a környező pixelek milyen mértékben járulnak hozzá az új pixelértékhez.
 - a kernelt a képen végigcsúsztatva minden pozícióban kiszámítjuk az új értéket, általában egy súlyozott összeg formájában.

Képszűrés alapjai

- A képszűrés során különböző típusú szűrőket alkalmazhatunk
 - attól függően, hogy milyen hatást szeretnénk elérni.
- Az **aluláteresztő szűrők** célja a magas frekvenciájú komponensek – például zaj vagy élek – csökkentése, így ezek elmosó hatásúak.
- A **felüláteresztő szűrők** ezzel szemben a gyors változásokat emelik ki, így alkalmasak élek detektálására és a kép élesítésére.
- Léteznek irányérzékeny szűrők is, amelyek például csak vízszintes vagy függőleges éleket emelnek ki.
- A képszűrés fontos sajátossága, hogy erősen befolyásolja a kép vizuális karakterét.
 - Egy elmosó szűrő csökkenti a zajt, de ezzel együtt a részleteket is elveszíthetjük.
 - Egy élesítő szűrő kiemeli a részleteket, ugyanakkor felerősítheti a zajt is.
 - A megfelelő szűrő kiválasztása mindig kompromisszumot jelent a különböző vizuális tulajdonságok között.

Képszűrés alapjai

- A képszűrés nemcsak vizuális célokra használható, hanem előfeldolgozási lépésként is fontos szerepet játszik.
- Számos magasabb szintű algoritmus szűrt képeken működik hatékonyan
 - Pl. objektumfelismerés vagy az éldetektálás
- Ennek megfelelően a képszűrés a modern számítógépes látás és grafikai rendszerek egyik alapvető építőköve.

**A konvolúció a
képfeldolgozásban...**

Konvolúció alapjai

- A képszűrés egyik legfontosabb matematikai alapja a konvolúció művelete.
- **A konvolúció eljárása:**
 - a képet egy kisebb méretű mátrixszal, úgynevezett **kernellel** vagy **szűrőmaszkkal** kombinálunk annak érdekében, hogy új képet állítsunk elő.
 - Ez az új kép a bemeneti kép lokális tulajdonságait tükrözi, attól függően, hogy milyen kernelt alkalmazunk
- A konvolúció egy **diszkrét művelet**, amely egy kétdimenziós jel – jelen esetben a digitális kép – és egy másik, kisebb méretű mátrix között kerül kiszámításra
- **A művelet során:**
 - a kernelt a képen végigcsúsztatjuk,
 - és minden egyes pozícióban kiszámítjuk az aktuális pixel új értékét a környező pixelek és a kernel súlyainak szorzataként

Konvolúció alapjai

- **Egy adott pixel új értékének meghatározása:**
 - úgy történik, hogy a kernel középpontját az aktuális pixelre helyezzük,
 - majd a kernel minden elemét megszorozzuk a megfelelő helyen lévő képpont értékével.
 - Az így kapott szorzatokat összeadjuk, és ez adja az új pixelértéket.
 - Ez a folyamat a kép minden pixelére elvégzésre kerül, így jön létre a szűrt kép.
- **Fontos:**
 - a konvolúció során a kép szélein speciális problémák merülnek fel, mivel a kernel egy része „kilóg” a képből.
 - Ennek kezelésére többféle módszer létezik:
 - Pl. a hiányzó pixelek nullával való helyettesítése,
 - a szélek tükrözése, vagy a legközelebbi pixel értékének ismétlése.
 - A választott megoldás hatással lehet a végeredményre.

Konvolúció alapjai

- A konvolúció egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy **lineáris művelet**.
- **Jelentése:**
 - ha két képet külön-külön szűrünk, majd összeadjuk őket, ugyanazt az eredményt kapjuk, mintha előbb összeadtuk volna a képeket, majd egyszer végeztük volna el a szűrést.
 - Ez a tulajdonság matematikailag jól kezelhetővé teszi a konvolúciót, és lehetővé teszi komplex szűrők felépítését egyszerűbbek kombinációjával.
- A konvolúció alkalmazásával különböző típusú szűrések valósíthatók meg.
- Ha a kernel súlyai átlagoló jellegűek, akkor elmosó hatást kapunk, amely csökkenti a zajt és a finom részleteket.
- Ha a kernel a különbségeket emeli ki, akkor éldetektáló hatást érhetünk el, amely kiemeli a gyors intenzitásváltozásokat a képen.
- Más kernelválasztásokkal élesítés, irányérzékeny szűrés vagy speciális effektusok is megvalósíthatók.

Klasszikus szűrőmaszkok...

Átlag (mean) szűrő

- Az átlagoló szűrő az egyik legegyszerűbb és legkönnyebben érthető képszűrési eljárás
 - a kép elmosására és a zaj csökkentésére szolgál.
- **Alapgondolata:**
 - egy adott pixel új értékét a környezetében található pixelek átlagaként határozzuk meg.
 - Ez azt jelenti, hogy a kép lokális intenzitásingadozásai kiegyenlítődnek, így a kép simább, kevésbé zajos lesz.
- A módszer konvolúcióval valósítható meg
 - egy olyan kernel segítségével, amelyben minden elem azonos súlyt kap.
- Egy tipikus **3×3-as átlagoló kernel** minden eleme $1/9$ értékű,
 - azt jelenti, hogy a környezet kilenc pixelének értékét összeadjuk, majd elosztjuk kilencel.
 - A középső pixel új értéke tehát a saját és a szomszédos pixelek átlagából adódik.

Átlag (mean) szűrő



Original

3x3

5x5

7x7

Átlag (mean) szűrő

- Ez a szűrő különösen hatékony véletlenszerű zaj csökkentésére
 - mivel a zaj általában nagy frekvenciájú, gyorsan változó komponensekből áll.
- Az átlagolás ezeket a gyors változásokat kisimítja. Ugyanakkor ennek ára van:
 - a kép részletei, különösen az élek, szintén elmosódnak
- Az élek esetében ugyanis nagy intenzitáskülönbség van a szomszédos pixelek között, és az átlagolás ezeket a különbségeket csökkenti
- Az átlagoló szűrő egyik fontos tulajdonsága, hogy **lineáris és eltolásinvariáns**
 - **Jelentése:** a kép bármely részén ugyanúgy viselkedik.
- Ez egyszerűvé teszi az implementációját és az analízisét
 - azonban nem veszi figyelembe a kép struktúráját, például azt, hogy egy él vagy egy homogén terület található-e az adott helyen.

Átlag (mean) szűrő

- A kernel méretének növelése erősebb elmosást eredményez.
- Egy 5×5 -ös vagy 7×7 -es átlagoló szűrő már jelentősen csökkenti a zajt,
 - ezzel együtt a kép részleteinek nagy részét is eltünteti
- Ez jól mutatja a képfeldolgozás egyik alapvető kompromisszumát:
 - **a zajcsökkentés és a részletmegőrzés egymással ellentétes célok**

Gauss szűrő

- A Gauss-szűrő az egyik legfontosabb és leggyakrabban alkalmazott képszűrési eljárás,
 - elsősorban a kép zajcsökkentésére és finom elmosására szolgál.
- Az átlagoló szűrőhöz hasonlóan ez is **a környező pixelek figyelembevételével számítja ki az új pixelértékeket,**
 - a különbség abban rejlik, hogy nem minden pixel járul hozzá azonos mértékben az eredményhez.
- Egy olyan súlyozott átlagolást valósít meg:
 - amelyben a középponthoz közelebb eső pixelek nagyobb súlyt kapnak,
 - míg a távolabbi pixelek hozzájárulása fokozatosan csökken.
 - Ez a súlyeloszlás a Gauss-eloszlás, vagyis a normális eloszlás matematikai függvényét követi.
 - Ennek következtében **a szűrés „természetesebb” hatású, mint az egyszerű átlagolás,** mivel jobban megőrzi a kép szerkezetét.

Gauss szűrő

- **Egy tipikus 3×3-as Gauss-kernel:**

- a középső elem nagyobb értéket kap, a szomszédos elemek kisebbet,
- a sarkok pedig még kisebbet.
- **A kernel elemeinek összege általában 1**, így a szűrés nem változtatja meg a kép átlagos fényerejét.
- A konkrét súlyok megválasztása a Gauss-függvény szórásától függ, amely meghatározza az elmosás mértékét.

- **A Gauss-szűrés egyik legnagyobb előnye:**

- hatékonyan csökkenti a zajt anélkül, hogy annyira elmosná az éleket, mint az egyszerű átlagoló szűrő.
- Ennek oka, hogy a központi pixel nagyobb súlyt kap, így a lokális struktúrák jobban megmaradnak.
- Ez különösen fontos olyan feldolgozási láncokban, ahol az elmosást éldetektálás követi,
 - mivel a zaj csökkentése javítja az élek felismerhetőségét.

Gauss szűrő

- **A Gauss-szűrő egy másik fontos tulajdonsága, hogy szeparálható**
- Ez azt jelenti:
 - egy kétdimenziós Gauss-kernel felbontható két egydimenziós kernel szorzatára:
 - egy vízszintes és egy függőleges szűrésre
 - Ennek gyakorlati jelentősége:
 - a konvolúció számítási költsége jelentősen csökkenthető,
 - mivel egy 2D művelet helyett két egyszerűbb 1D műveletet kell elvégezni.
- A szórás (σ) paraméter növelésével a szűrés egyre erősebb elmosást eredményez
 - Kis szórás esetén csak finom zajcsökkentés történik, míg nagy szórásnál a kép jelentősen elmosódik, és a részletek eltűnnek.
 - Ez a paraméter tehát közvetlenül szabályozza a szűrés intenzitását.

Gauss szűrő

Original



Result



Gauss szűrő

- A Gauss-szűrés nemcsak önálló műveletként fontos,
 - számos más algoritmus alapját is képezi.
- Pl: az éldetektálás egyik legismertebb módszere, a **Canny-algoritmus**, első lépésként Gauss-elmosást alkalmaz a zaj csökkentésére.
- Emellett a Gauss-szűrő a képpiramisok és a többfelbontású reprezentációk létrehozásában is kulcsszerepet játszik.

Élesítő szűrők...

Élesítés szűrők (Sharpening)

- Az élesítő szűrők a digitális képfeldolgozás egyik alapvető eszközei
- **Célja:** a képek részleteinek kiemelése és a kontraszt növelése a lokális intenzitásváltozások mentén
- A szűrők azokat a területeket erősítik, ahol az intenzitás gyorsan változik, azaz a kép élei mentén.
- Az élesítés alapvetően a magas frekvenciás komponensek kiemelésén alapul
 - mivel a kép nagyobb részletei, mint az élek és textúrák, magas frekvenciás információként jelennek meg a spektrumban.
- Ezzel szemben az alacsony frekvenciás komponensek:
 - a simább, homogén területekhez kapcsolódnak,
 - melyek kevésbé relevánsak az élesítés szempontjából
- Ennek eredményeként a kép „kontrasztosabbnak” és részletgazdagabbnak tűnik.

Élesítés szűrők (Sharpening)

- Az élesítés alapötlete abból indul ki, hogy egy kép részletei az intenzitás gyors változásaiban jelennek meg
 - Ha sikerül ezeket a változásokat kiemelni, akkor a kép élesebbnek hat.
- Az élesítő szűrők matematikailag leggyakrabban konvolúciós operátorokkal valósíthatók meg.
- **A képet egy mag (kernel) segítségével szűrjük**
 - a mag minden eleme súlyt ad az adott pixel környezetében lévő szomszédos pixelekhez.
- Matematikailag:
 - gyakran úgy valósul meg, hogy a középső pixel súlya nagy pozitív érték, míg a környező pixelek súlya negatív.
 - Ez a struktúra lehetővé teszi, hogy a homogén területek kevésbé változzanak, míg az intenzitáskülönbségek felerősödjenek.

Élesítés szűrők (Sharpening)

- **Egy klasszikus 3×3-as élesítő kernel:**
 - úgy van felépítve, hogy a középpont értéke 5, a közvetlen szomszédok pedig -1 értéket kapnak, míg a sarkok 0-k.
- Ez a kernel a középső pixel értékét megnöveli, miközben a környező pixelek hatását kivonja belőle.
- Az eredmény az, hogy a pixel környezetéhez képest erősebben „kiemelkedik”, ami vizuálisan élesebb képet eredményez.
- **Az élesítő szűrők egyik fontos sajátossága, hogy érzékenyek a zajra**
 - Mivel a zaj is gyors intenzitásváltozásokból áll, az élesítés nemcsak a hasznos részleteket, hanem a zajt is felerősítheti.
 - Emiatt gyakran alkalmaznak egy előzetes elmosást, például Gauss-szűrést, majd erre építik az élesítést.
 - Ez a kombináció kiegyensúlyozottabb eredményt ad.

Egyszerű élesítés

- Az egyik legegyszerűbb élesítő módszer a **Laplace-operátor**.
- **A módszer:**
 - a kép intenzitásának második deriváltját közelíti,
 - és érzékeny az intenzitás hirtelen változásaira, azaz az élekre.
- **A diszkrét képfeldolgozásban a Laplace-operátor egy mátrix**
 - a kép minden pixelére konvolúciós művelettel alkalmazunk.
- Például egy gyakran használt 3×3 -as mátrix:

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Egyszerű élesítés

- A középső pixel súlya pozitív, a környező pixeleké negatív.
- A mátrix alkalmazása:
 - a középső pixel intenzitásából levonjuk a szomszédok súlyozott összegét,
 - ami kiemeli a hirtelen változásokat.
- Az élesített kép előállítása történhet úgy, hogy a Laplace-eredményt hozzáadjuk az eredeti képhez,
 - így a kép részletei és élei erőteljesebbé válnak.
- Ez a módszer **gyors, egyszerű**
- De zajos képeken érzékeny a zajra, mert a zaj is magas frekvenciás komponensként jelenik meg.

Unsharpping Mask (UM)

- Egy klasszikus, széles körben alkalmazott élesítési technika, amely a fotózásból származik.
- Az eljárás célja:
 - a részletek kiemelése úgy, hogy a nagyobb struktúrákat kisimítjuk,
 - majd a finom részleteket visszaadjuk az eredeti képhez.
- A folyamat három lépésből áll:
 - **Elhomályosítás:** A kiinduló képet Gauss-szűrővel vagy más low-pass szűrővel simítjuk, eltávolítva a részletek nagy részét.
 - **Részletkomponens előállítás:** Az elhomályosított képet levonjuk az eredeti képből, így megkapjuk a kép high-frequency komponensét, azaz a részleteket.
 - **Visszaillesztés:** Ezt a részletkomponenst visszaadjuk az eredeti képhez, gyakran egy súlyozó tényezővel, amely szabályozza az élesítés mértékét.

Unsharpping Mask (UM)

- Az unsharp masking előnye: kontrolláltan erősíti az éleket anélkül, hogy a nagyobb homogén területeket jelentősen torzítaná.
- Matematikailag:

$$I_{\text{éles}} = I_{\text{eredeti}} + k \cdot (I_{\text{eredeti}} - I_{\text{elhomályosított}})$$

ahol k az élesítés mértékét szabályozó faktor.

Unsharpening Mask (UM)



Original image

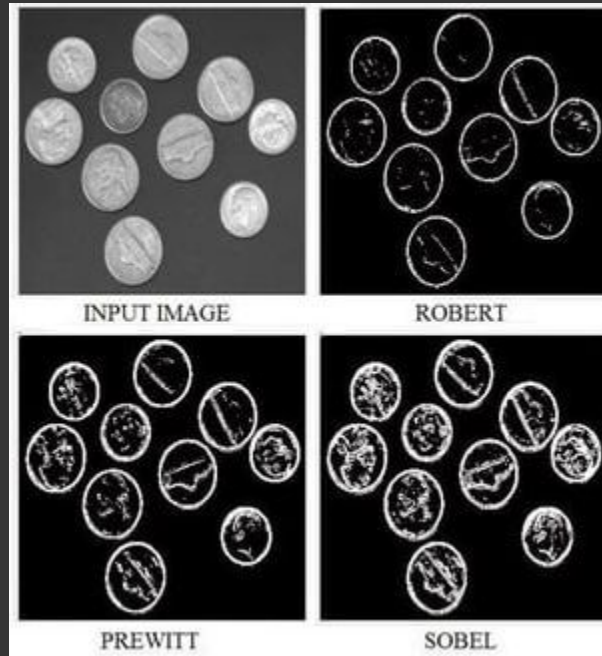


Unsharp Mask filter applied

Sobel, Prewitt és Roberts operátorok

- Klasszikusan él- és kontúrfelismerő operátorok, gyakran alkalmazzák őket élesítésre is.
- A lényege, hogy az intenzitás első deriváltját közelítik két fő irányban (x és y), így a gyors változásokat – az éleket – kiemelik.
 - **Sobel operátor:** súlyozott középső pixeleket használ a simítás érdekében, érzékeny az élekre, de kevésbé érzékeny a zajra.
 - **Prewitt operátor:** egyszerű, egyenletes súlyozás, gyorsabb, de zajra érzékenyebb.
 - **Roberts operátor:** a képeket 45° -os irányban differenciálja, leginkább finom élek kiemelésére alkalmas.
- Ezekkel a gradiens-alapú operátorokkal az élek kimutatásával egy élesítő kép állítható elő, amelyet az eredeti képhez adva az élesítést érhetjük el.

Robert, Prewitt, Sobel



High-Boost szűrés

- Az unsharp masking továbbfejlesztett változata
- Lehetővé teszi, hogy az eredeti kép alacsony frekvenciás tartalma is erősebben megmaradjon.
- A formula:

$$I_{\text{high-boost}} = A \cdot I_{\text{eredeti}} - I_{\text{elhomályosított}}$$

ahol $A > 1$ a boost faktor. Minél nagyobb az A , annál erősebb az élesítés.

High-Boost szűrés



Original Image



Sharpened Image

Éldetektálás...

Éldetektálás

- Célja a képből található élek, vagyis az intenzitás hirtelen megváltozásának helyeinek meghatározása.
- Az élek gyakran objektumhatároknak felelnek meg
 - kulcsfontosságú szerepet játszanak a magasabb szintű feldolgozási feladatokban
 - Pl. objektumfelismerésben vagy képszegmentálásban
- Az élek matematikai szempontból ott jelennek meg, ahol a kép intenzitásfüggvénye gyorsan változik.
- Ez a változás a derivált fogalmával írható le
 - az éldetektálás lényegében a kép gradiensének meghatározását jelenti.
 - A gradiens egy vektormennyiség, amely megadja az intenzitásváltozás irányát és mértékét.

Éldetektálás

- A digitális képek esetében a deriváltat diszkrét módon közelítjük, jellemzően **konvolúciós kernel** segítségével.
- Az egyik legismertebb ilyen módszer a **Sobel-operátor**, amely két különböző szűrőt alkalmaz:
 - egyet a vízszintes,
 - egyet a függőleges irányú változások detektálására.
- A vízszintes irányú változásokat detektáló kernel az intenzitás változását balról jobbra méri,
- A függőleges kernel a fentről lefelé irányuló változásokat.
- A két szűrés eredményeként minden pixelhez két értéket kapunk:
 - egyet az x irányú, egyet az y irányú változásra.
 - Ezekből az értékekből kiszámítható a gradiens nagysága, amely megmutatja, mennyire erős az él az adott pontban.

Éldetektálás

- A gradiens nagyságát általában a két komponens négyzetösszegének gyökeként határozzuk meg
 - de gyakran alkalmaznak egyszerűbb közelítéseket is, például az abszolút értékek összegét.
 - Minél nagyobb ez az érték, annál valószínűbb, hogy az adott pixel egy élhez tartozik.
- A Sobel-operátor egyik előnye, hogy **bizonyos mértékű simítást is végez**, mivel a kernel nemcsak különbségeket számol, hanem átlagol is.
- Ez segít csökkenteni a zaj hatását, így stabilabb eredményt ad, mint az egyszerű differenciál alapú módszerek.

Éldetektálás

- Az éldetektálás eredménye általában egy szürkeárnyaltos kép,
 - a világos területek az erős éleket jelölik,
 - a sötét részek homogén területeknek felelnek meg.
- Gyakran alkalmaznak egy küszöbértéket is, amely alapján eldöntik, hogy egy adott pixel élnek tekinthető-e vagy sem.
 - Ez a lépés bináris élképet eredményezhet.
- Fontos megjegyezni, hogy az éldetektálás érzékeny a zajra, ezért gyakran megelőzi egy elmosó szűrés, például Gauss-szűrés.
- Ez a kombináció – előszűrés és gradiens számítás – számos fejlettebb algoritmus alapját képezi.

Sobel operátor

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

Gx

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

Gy

Sobel operátor

original image



Final Image



Köszönöm a figyelmet!