

13. Morfologinen kuvankäsittely

Eroosio ja dilaatio

Avaus ja sulkeminen

Harmaasävykuvien morfologia

Yhdistettyjä operaatioita

Morfologisen käsittelyn taustaa

- Kyseessä on kuvan sisältämien *muotojen* käsittely ja parantelu.
- Kohteena on yleensä *binäärikuva* (mustavalkoinen, sävyt esim. 0=valkoinen, 1=musta), joskus harmaasävykuva
- Tyypillinen tilanne: Kuva-analyysin yhteydessä on tehty ns. *segmentointi*, jolla pyritään erottelemaan edustan kohteet taustasta. Tehtävä on vaikea! Perusvaihtoehdot: *similaarisuuteen* perustuvat vs. *epäjatkuvuuksiin* perustuvat menetelmät.

Segmentointitekniikoita

- *Kynnystys*; värikuville etäisyyskynnys referenssiväristä RGB-avaruudessa
- *Yhtenäisten alueiden etsintä*, käyttäen naapureiden similaarisuusehtoa (ns. ruohikkopaloalgoritmi; vrt. Photoshopin taikasauvavalitsin)
- *Halkaise & yhdistä* –algoritmi (halkaise epäyhtenäiset osat, yhdistä yhtenäiset naapurit)
- *Reunanseurantamenetelmät* (vrt. ylipäästösuodatus ja gradienttimenetelmät)
- *Tekstuuripohjainen* segmentointi
- *Taajuusspektriin* perustuva segmentointi

Kynnystysesimerkki



Photo Credit: US Fish and Wildlife Service
Archive: Gimp-Savvy

Morfologisen käsittelyn perusteita

- Tavoitteena esim. huonon segmentointituloksen parantaminen (kohinan, tekstuurin tai väärän kynnysvalinnan aiheuttamat virheet). Segmenttien pisteiden koodaus esim. 0=tausta, 1=edusta.
- Suoritetaan *rakenne-elementin* (mallin) sovittaminen kuvaan joka kohtaan. Tulos=1, jos sovitus onnistuu, muuten 0. Onnistumisehto voi vaihdella.

Rakenne-elementti

- = sovitettava malli
- Binäärimatriisi (0/1), ykkösten paikat määräävät mallin muodon.
- Mallin origon paikka määriteltävä; usein keskellä (sivun pituus yleensä pariton)
- Esim.

1	1	1	1	1
1	1	1	1	0
1	1	1	0	0
1	1	0	0	0
1	0	0	0	0

0	0	1	0	0
0	1	1	1	0
1	1	1	1	1
0	1	1	1	0
0	0	1	0	0

Täsmäys ja osuma

- Fitting & hitting; vastaa korrelaatiota
- Rakenne-elementti asetetaan kuvan päälle eri kohtiin.
- Elementti *täsmää* a.o. kohtaan, jos sen *jokaisen* 1-alkion kohdalla on kuvassa 1-pikseli.
- Elementti *osuu* a.o. kohtaan, jos *jonkin* 1-alkion kohdalla on 1-pikseli.
- Elementin 0-alkiot eivät vaikuta täsmäys-tulokseen (= 'don't care').

Esimerkki täsmäyksestä

Kuva & täsmäyspaikat

Rakenne-
elementti

0	1	0
1	1	1
0	1	0

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0

Esimerkki osumista

Kuva & osa osumista

Rakenne-
elementti

0	1	0
1	1	1
0	1	0

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0

Eroosio

- Kuvan f eroosio rakenne-elementin s suhteen, merk. $g = f \ominus s$, perustuu täsmäykseen.
- Sääntö elementin origopikselin arvolle:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{jos } s \text{ täsmää } f : \text{ään kohdassa } (x, y) \\ 0, & \text{muuten} \end{cases}$$

missä (x,y) edustaa elementin origokohtaa ja kulkee kuvan kaikki pikselit.

- Huom. Origin paikan voi valita vapaasti; jopa rakenne-elementin ulkopuolelta.

Eroosion vaikutuksia

- Vastaa rank-suodatusta (erityisesti minimi-rank-suodatus).
- 'Kuorii' kohteen pinnalta muutaman pikselikerroksen, kutistaen sitä.
- Suurentaa kohteen keskellä olevia aukkoja
- Eliminoi 'roskat' ja pienen mittakaavan häiriöt (pienet ulokkeet) kohteen reunoilta; saattaa poistaa myös osan tärkeistä pikseleistä.
- Vaikutuksen voimakkuus riippuu rakenneelementin koosta (1-alkioiden määrästä).

Eroosion käytöstä (jatk.)

- Iso eroosio (elem. s_2) saadaan toistamalla pienempää (elem. s_1):

$$f \ominus s_2 \approx (f \ominus s_1) \ominus s_1$$

- Reunojen etsintä:

Vähennetään kuvasta eroosion tulos;

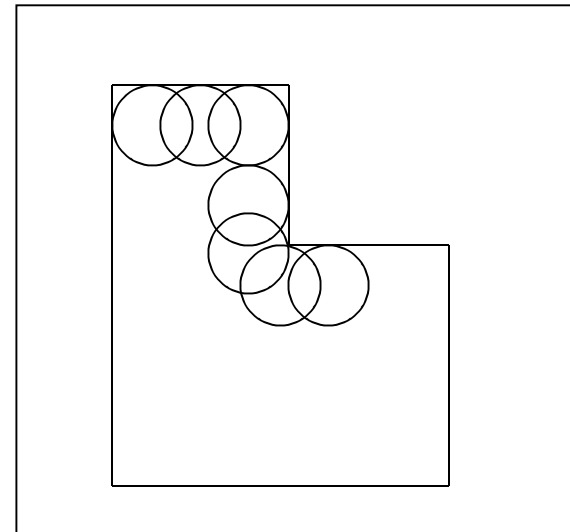
'kuorittu' reuna jää jäljelle; kaavana:

$$g = f - (f \ominus s)$$

Rakenne-elementin koko määrää havaitun reunan paksuuden.

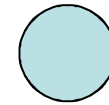
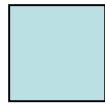
Eroosion visualisointi

- Kuljetetaan rakenne-elementtiä kohteen sisäpuolella siten, että se koskettaa reunaa.
- Elementin origon piirtämä viiva on kohteen uusi reuna.
- Elementin 1-pikseli-alueen muoto on usein ympyrän approksimaatio

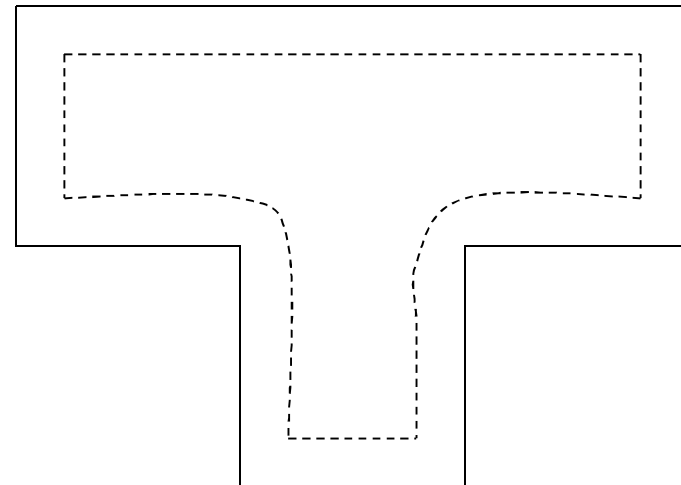
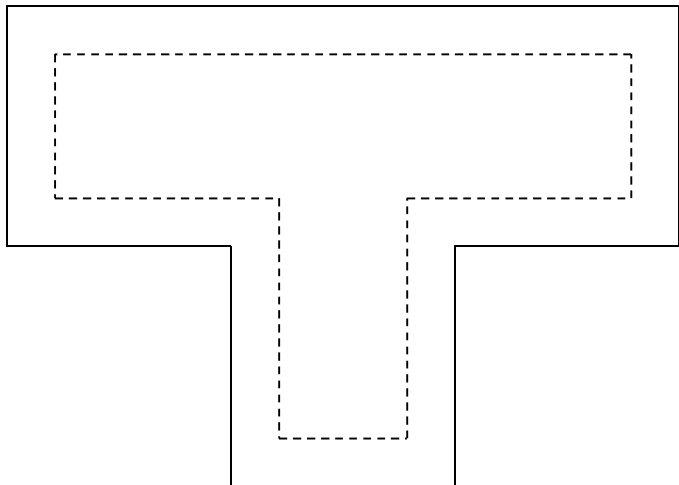


Esimerkki eroosiosta

- Kokeillaan kahdella rakenne-elementillä:



- Kohteen kutistuminen:



Dilaatio (laajennus)

- Kuvan f laajennus rakenne-elementillä s , merkitään $f \oplus s$, perustuu osumiin:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{jos } s \text{ osuu } f \text{ : ään} \\ 0, & \text{muuten} \end{cases}$$

Toistetaan kaikille (x,y) -pikseleille.

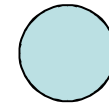
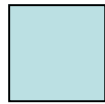
- Vastakohta eroosiolle: dilaatio lisää pikselikerroksia kohteen pintaan.
- Kutistaa kohteen sisältämiä aukkoja
- Vrt. max-rank-suodatin

Dilaation visualisointi

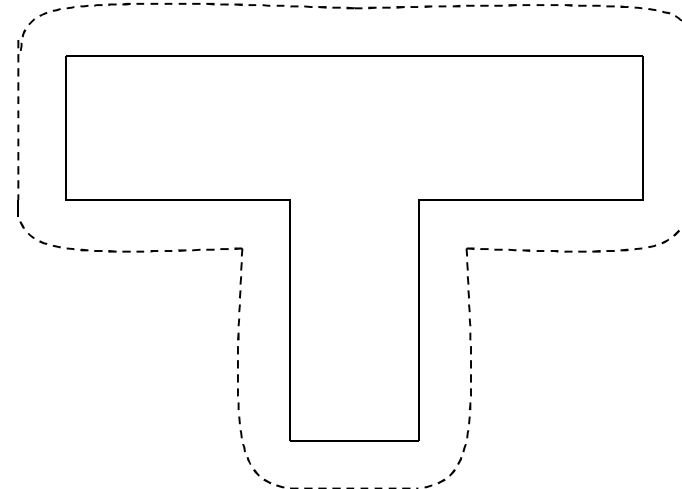
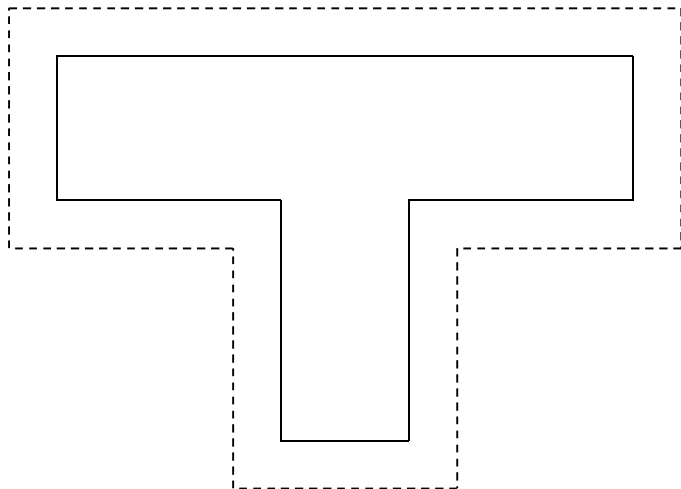
- Rakenne-elementtiä kuljetetaan pitkin kohteen pintaa siten, että sen reuna koskettaa kohteen reunaa.
- Elementin origon reitti edustaa laajennetun kohteen ulkoreunaa.
- Esim. ympyrän muotoinen 1-alue elementissä: Kohteen ulkokulmat pyöristyvät, sisäkulmat pysyvät terävinä.

Esimerkki dilaatiosta

- Kokeillaan kahdella rakenne-elementillä:



- Kohteen laajeneminen:



Esimerkki eroosiosta ja dilaatiosta

Tässä 0 = musta, 1 = valkoinen



Photo Credit: US Fish and Wildlife Service
Archive: Gimp-Savvy

Eroosion ja dilaation suhde

- *Duaalioperaatioita:*
 $f \oplus s = (f^C \ominus s^R)^C$, missä
 - C edustaa komplementointia ($0 \leftrightarrow 1$)
 - R edustaa 180° rotaatiota (tosin s yleensä symmetrinen)
- Molemmat voidaan toteuttaa samalla ohjelmakoodilla (lisäksi komplementointi)
- Eroosio vastaa kohteen taustan dilaatiota ja päinvastoin.

Operaatioiden yhdistäminen

- Tarvittavia perusoperaatioita:

- Eroosio \ominus

- Dilaatio \oplus

- Komplementointi c

- Leikkaus:

$$h(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{jos } f(x, y) = g(x, y) = 1 \\ 0, & \text{muuten} \end{cases}$$

- Unioni:

$$h(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{jos } f(x, y) = 1 \text{ tai } g(x, y) = 1 \\ 0, & \text{muuten} \end{cases}$$

'Avaus'-operaatio

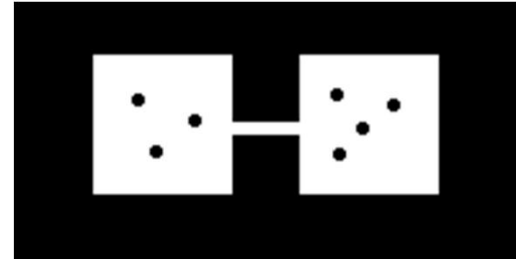
- Eroosio+dilaatio: $f \circ s = (f \ominus s) \oplus s$
- Sopii esim. kohteiden erotteluun segmentointituloksesta.
- Eroosio katkaisee kohteiden ohuet yhteydet
- Dilaatiovaihe palauttaa kohteet alkuperäiseen kokoonsa, muttei palauta ohuita yhteyksiä.
- Pieniä eroja saattaa syntyä, esim. ulokkeet saattavat hävitä lopullisesti.
- Avaus on *idempotentti*: sen toisto ei muuta tulosta: $f \circ s = (f \circ s) \circ s$

Sulkemisoperaatio

- Dilaatio+eroosio: $f \bullet s = (f \oplus s^R) \ominus s^R$
- Vaikutus: kohteiden aukkojen pienennys ja poisto (dilaatiovaihe)
- Eroosio palauttaa kohteen suunnilleen alkuperäiseen kokoonsa.
- Idempotenssi: $f \bullet s = (f \bullet s) \bullet s$
- Dualismi: $f \bullet s = (f^C \circ s)^C$
 $f \circ s = (f^C \bullet s)^C$
- Sama ohjelmakoodi käytettävissä molempiin.

Esimerkki avausoperaatiosta (Koodaus: 0 = musta, 1 = valkoinen)

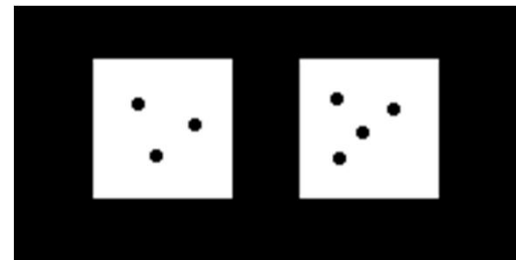
1. Alkuper. kuva



2. Eroosiovaihe

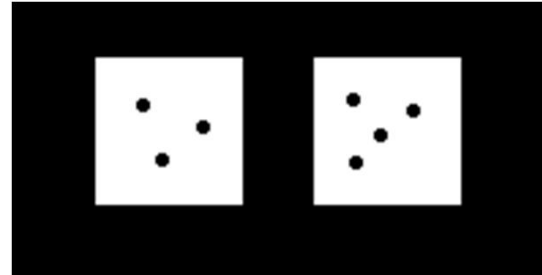


3. Dilaatiovaihe



Esimerkki jatkuu: sulkemisoperaatio

3. Avauksen tulos



4. Dilaatiovaihe



5. Eroosiovaihe



Esimerkkikuvan avaus ja sulkeminen erillisinä operaatioina

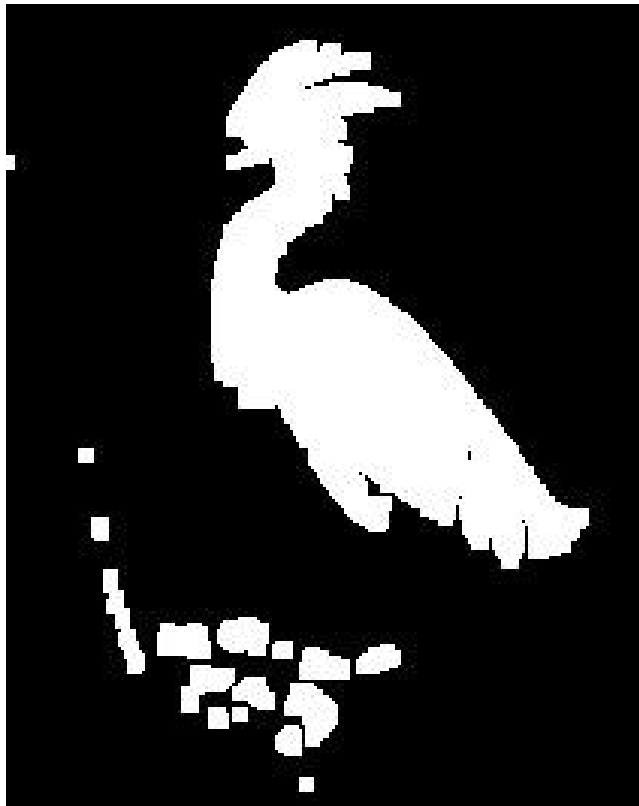
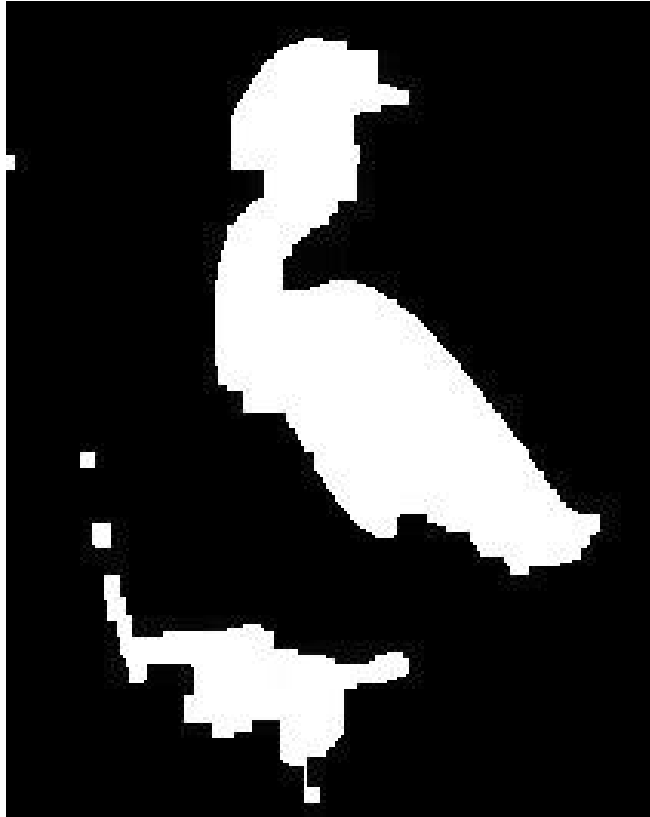


Photo Credit: US Fish and Wildlife Service
Archive: Gimp-Savvy

Yhdistetty avaus & sulkeminen



Lintu ja pesä saatu
lähes yhtenäisiksi
segmenteiksi

Kohteiden tunnistus
ei silti ole helppoa.

Photo Credit: US Fish and Wildlife Service
Archive: Gimp-Savvy

'Osuma-huti'-muunnos

- "Hit and miss", merk. \odot *
- Käytetään muotojen tunnistuksessa
- Kaksi rakenne-elementtiä: tunnistettavan kohteen muoto s_1 ja sitä ympäröivän 'kuoren' muoto s_2 (s_1 :llä ja s_2 :lla ei yhteisiä 1-bittejä)
- $f \odot \{s_1, s_2\} = (f \ominus s_1) \cap (f^c \ominus s_2)$
- Pelkkä s_1 havaitsee kohteet, jotka sisältävät halutun muodon
- Pelkkä s_2 havaitsee kohteet, jotka sisältyvät haluttuun muotoon.

'Osuma-huti'-muunnos (jatk.)

- Esimerkki n-kirjaimen havaitsemiseen tarvittavista rakenne-elementeistä (sisäosa + kuori)

	1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 0 1 1 1 0 0	1 0 0 1 0 0 0 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 0	1 0 0 0 0 0 0 0 1 1
1 1 1 0 0 0 1 1	1 0 0 1 1 1 1 0 0 1
1 1 0 0 0 0 1 1	1 0 0 1 1 1 1 0 0 1
1 1 0 0 0 0 1 1	1 0 0 1 1 1 1 0 0 1
1 1 0 0 0 0 1 1	1 0 0 1 1 1 1 0 0 1
1 1 0 0 0 0 1 1	1 0 0 1 1 1 1 0 0 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

Morfologinen suodatus

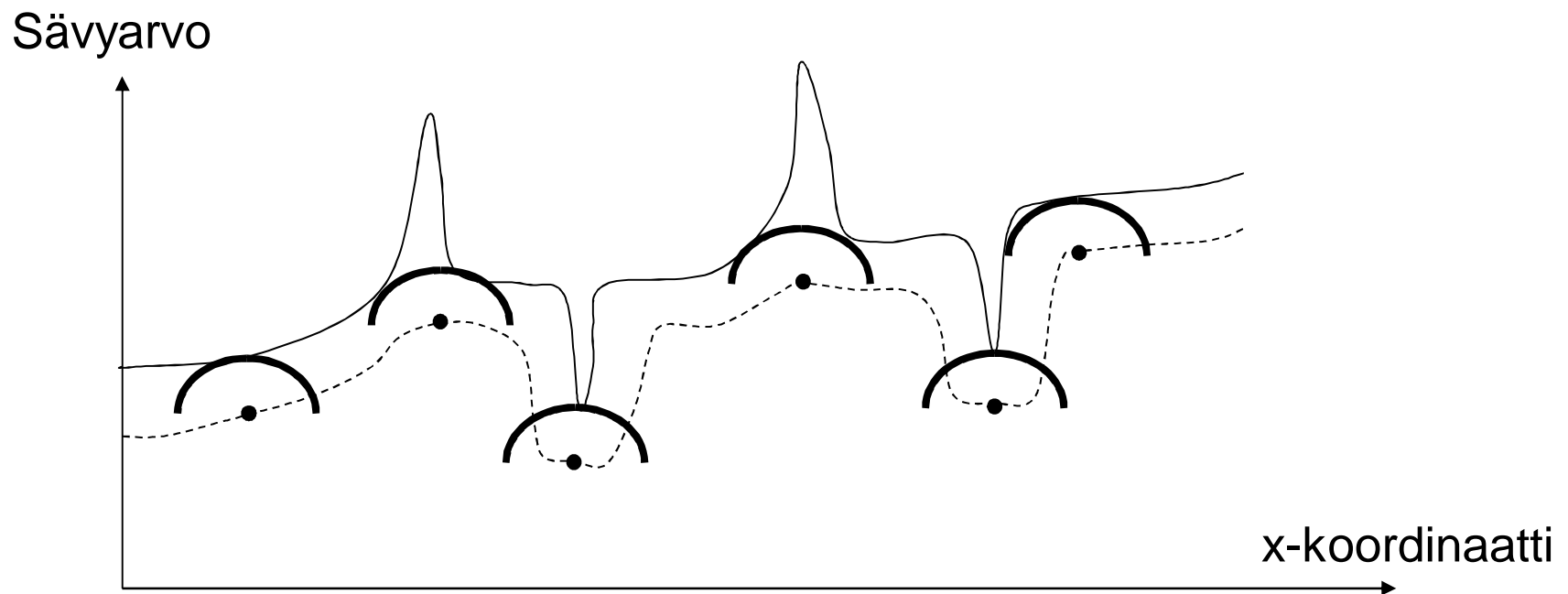
- Avaus ja sulkeminen ovat suodattimia
- Ympyränmuotoiselle rakenne-elementille:
 - Avaus pyöristää teräviä ulkonemia
 - Sulkeminen pyöristää teräviä kuoppia
- Molemmat poistavat häiriöitä/kohinaa
 - Avaus poistaa pienet kohteet
 - Sulkeminen poistaa pienet aukot kohteen sisällä
- Rakenne-elementin koon ja muodon valinta tärkeää:
 - Liian iso: kohina estää täsmäyksen.

Harmaasävykuvien morfologia

- Kolmas dimensio (sävy) mukana
- Myös rakenne-elementissä harmaasävyt
- Visuaalinen tulkinta:
Sävy = 'maaston' korkeus
- Eroosio: Asetetaan elementti kuvamaaston 'alle' ja nostetaan, kunnes jokin elementin kohta 'koskettaa' kuvamaaston pintaa;
nostokorkeus = eroosion tulosarvo, eli origon kohdalla olevan pikselin harmaasävy.
- Dilaatio vastaava, mutta malli yläpuolella.

Harmaasävykuvien morfologia: Eroosio-operaation visualisointi

- Eroosio puolipallon muotoisella elementillä;
kuvafunktio (tässä yhden pikselirivin kohdalta):



Harmaasävykuvan eroosio

- Kaavana:

$$(f \ominus s)(x, y) = \min_{j,k} [f(x+j, y+k) - s(j, k)]$$

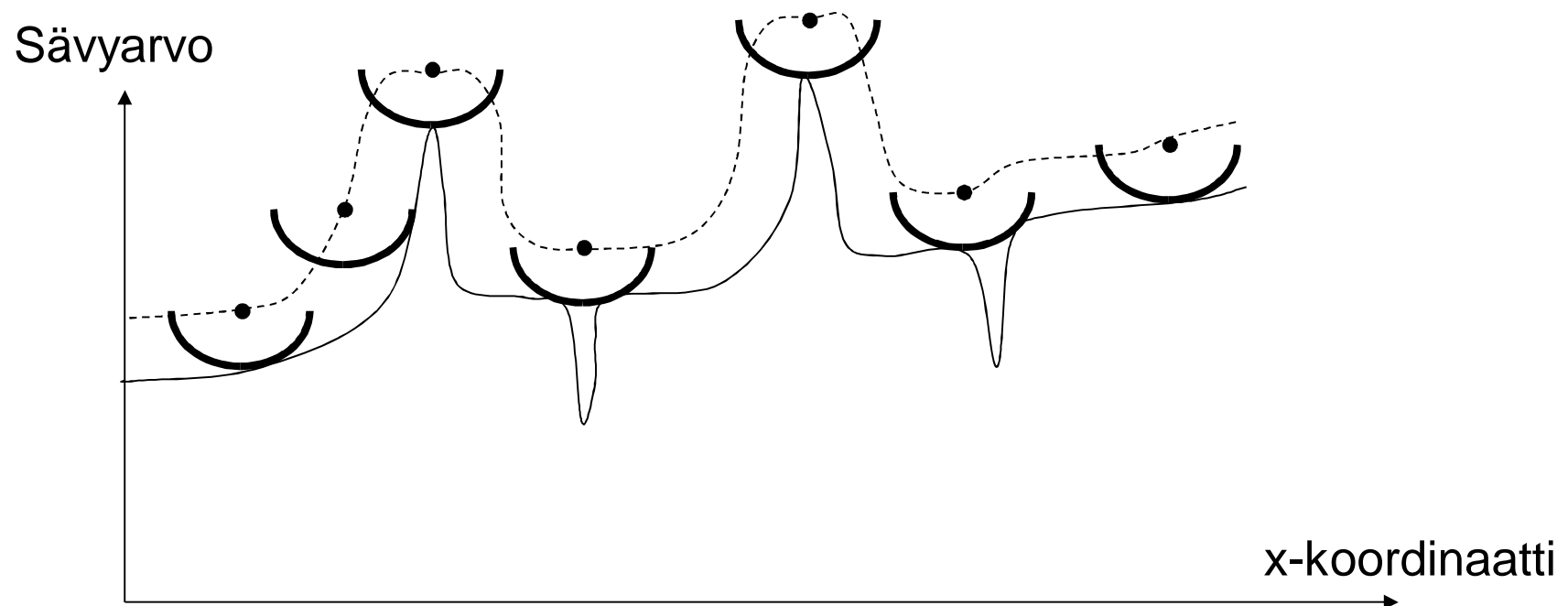
missä $j, k = -\lfloor m/2 \rfloor, \dots, \lfloor m/2 \rfloor$

- Erikoistapaus: s tasainen, eli $s(j, k) = c$ kaikilla j, k -arvoilla;

Vastaava vaikutus kuin minimi-rank-suodattimella (identtinen, jos $c = 0$).

Harmaasävykuvien morfologia: Dilaatio-operaation visualisointi

- Dilaatio puolipallon muotoisella elementillä; kuvafunktio yhden pikselirivin kohdalta:



Harmaasävykuvan dilaatio

- Kaavana:

$$(f \oplus s)(x, y) = \max_{j,k} [f(x-j, y-k) + s(j, k)]$$

missä $j, k = -\lfloor m/2 \rfloor, \dots, \lfloor m/2 \rfloor$

- Erikoistapaus: s tasainen; $s(j, k) = c$ kaikilla j, k -arvoilla.

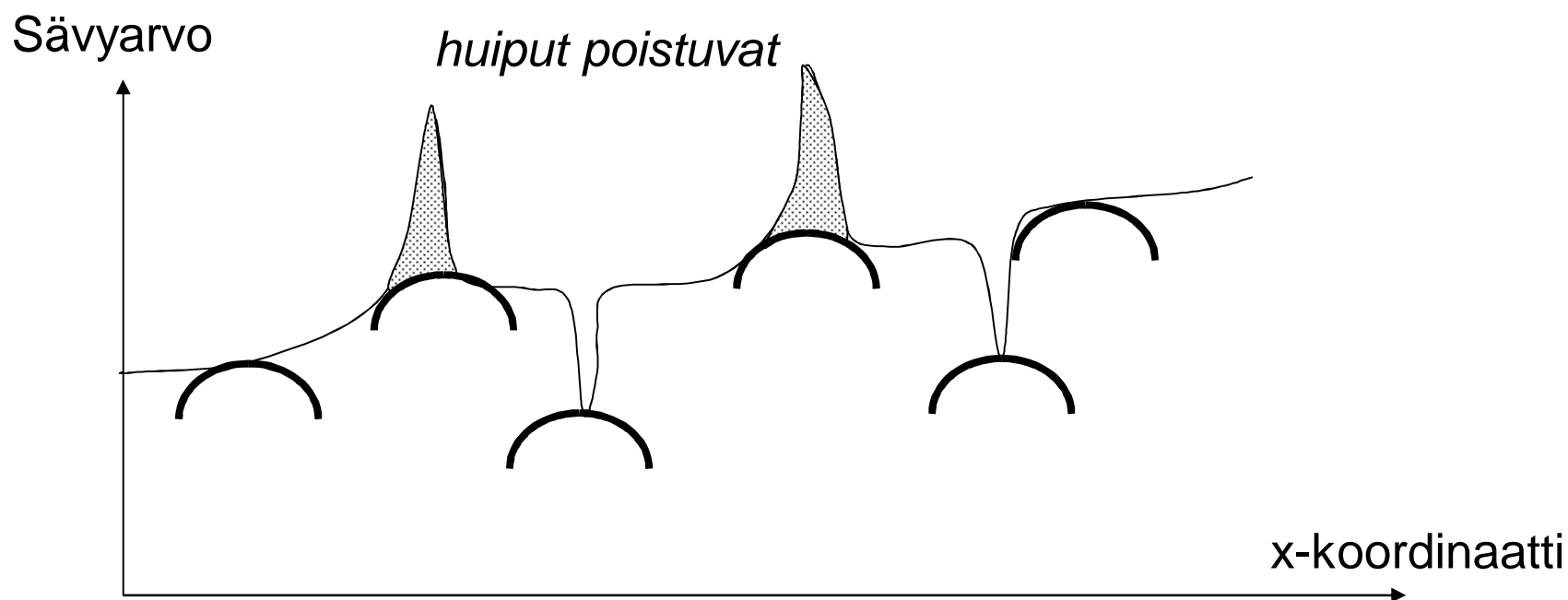
Vastaava vaikutus kuin max-rank-suodattimella (identtinen, jos $c=0$)

Avaus ja sulku harmaasävykuville

- Vastaavat kuin mustavalkokuville
- Pehmentävät kuvan 'topografiaa', ei niinkään kohteiden reunoja
- Eroosio kutistaa vaaleita alueita ja laajentaa tummia; dilaatio päinvastoin.
- Avaus poistaa pienikokoiset vaaleat kohteet (kuvamaaston 'huiput').
- Sulkeminen poistaa pienikokoiset tummat kohteet (kuvamaaston 'kuopat').

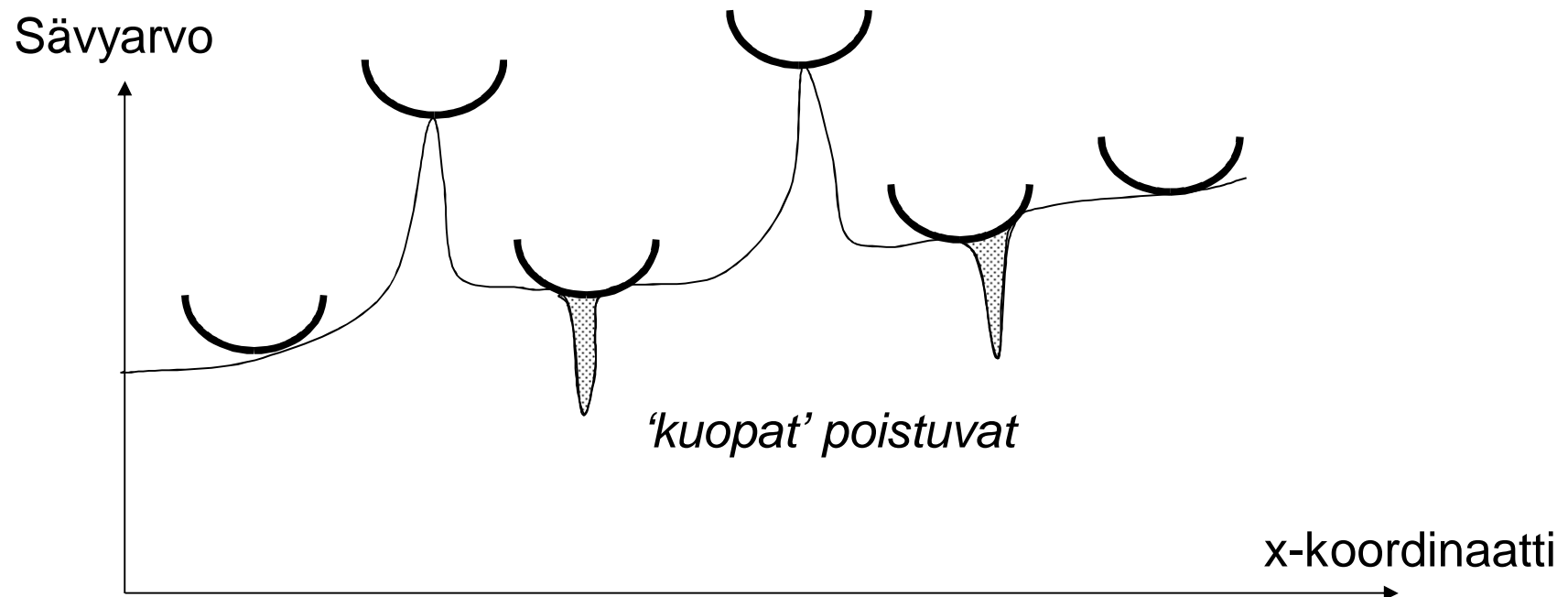
Harmaasävykuvien morfologia: Avausoperaation visualisointi

- Avaus puolipallon muotoisella elementillä;
kuvafunktio yhden pikselirivin kohdalta:



Harmaasävykuvien morfologia: Sulkemisoperaation visualisointi

- Sulkeminen puolipallon muotoisella elementillä; kuvafunktio yhden pikselirivin kohdalta:



Muita yhdistettyjä operaatioita

- *Morfologinen pehmennys:*
 - Avaus & sulkeminen peräkkäin
 - Poistaa vaaleat ja tummat pisteet
- *'Top-hat-muunnos':* $g = f - (f \circ s)$
 - Pienet vaaleat yksityiskohdat (huiput) jäävät jäljelle.
- *Duaalinen top-hat-muunnos:*
 $g = (f \bullet s) - f$
 - Pienet tummat yksityiskohdat (kuopat) jäävät jäljelle.