Şekilbilimsel Görüntü İşleme

Samsun – 2011

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), İkili İmaj İşleme

- İkili imajlar yaygın olarak kullanılmakta
  - Metin ve çizgi grafikleri, doküman görüntü işleme
  - Görüntü analiz sisteminde genel ara soyutlama
    - Objenin sınırları
    - Objenin yeri
    - Bazı görüntü özellikleri varlığı/yokluğu

- Bireysel piksellerin 0 ve 1 olarak temsilleri, uzlaşım:
  - Ön plan objesi = 1 (beyaz)
  - Arka plan = 0 (siyah)

- Mantıksal fonksiyonlar ile işlem hızlı ve kolay

- Bölgelerin şeklini değiştiren özel sınıf shift-invariant (kayma değişmez) operasyonu: Morfolojik Görüntü İşleme

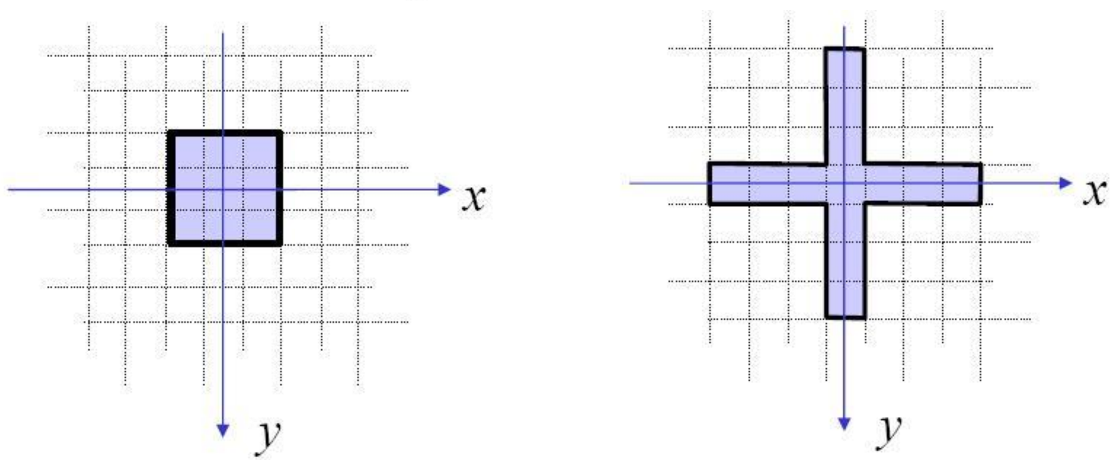
- Morfolojik görüntü işleme gri düzey görüntülere kadar genişlemiştir.

- Pencere operatörü

$$W\{f(x,y)\} = \{f(x-x', y-y'); (x',y') \in \Pi_{xy}\}$$

Yapıcı eleman

- Örnek yapıcı elemanlar Π_{xy}:



- İkil resim A ve B gibi iki nesne içersin

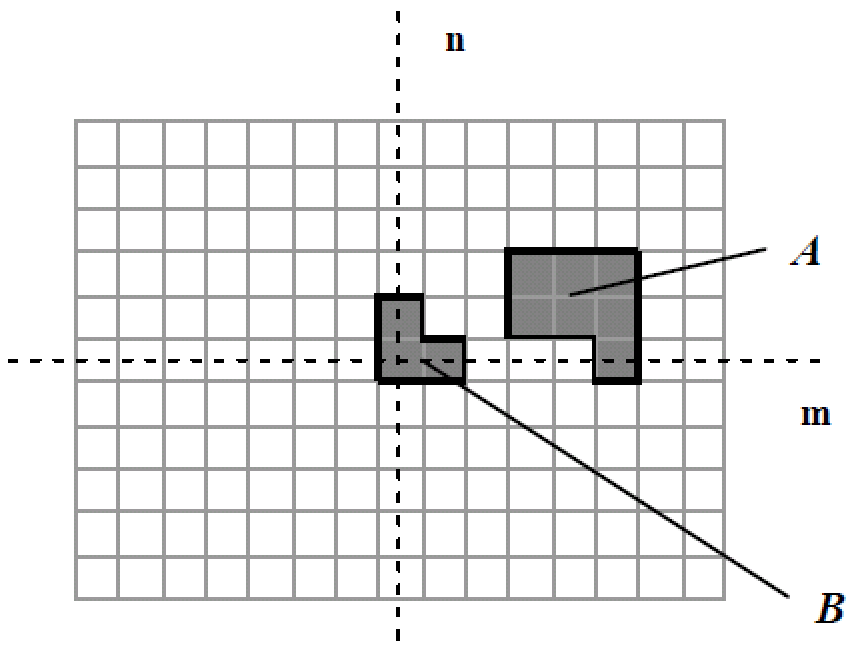


Figure 35: A binary image containing two object sets A and B.

Tanım

- Nesne ve arkaplan

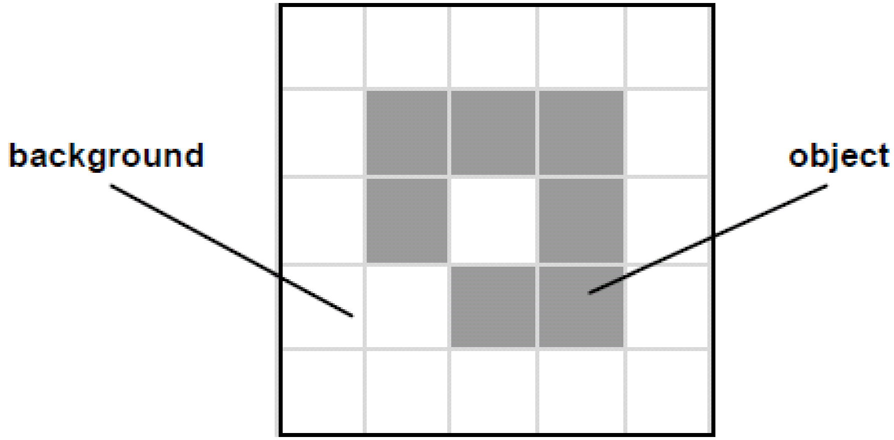


Figure 36: A binary image requiring careful definition of object and background connectivity.

İşlemler

- Kayma $A + \mathbf{x} = \{\alpha + \mathbf{x} \mid \alpha \in A\}$

- Minkowski toplama $A \oplus B = \bigcup_{\beta \in B} (A + \beta)$

- Minkowski çıkartma $A \ominus B = \bigcap_{\beta \in B} (A + \beta)$

Dilation / Erosion

- Genleşme/Dilation

$$D(A,B) = A \oplus B = \bigcup_{\beta \in B} (A + \beta)$$

- Kemirme/Erosion

$$E(A,B) = A \ominus \tilde{B} = \bigcap_{\beta \in B} (A - \beta)$$

$$\tilde{B} = \{-\beta \mid \beta \in B\}$$

- A: resim ve
- B: yapı elemanı

Genleşme

- İkili genleşme operatörü

$$g(x,y) = OR\left[W\{f(x,y)\}\right] := dilate(f, W)$$

- Etkileri
  - 1 değerli objelerin boyunu genişlet
  - Objenin sınırlarını düzgünleştir
  - Delikleri ve boşlukları kapat

Orijinal resim (178x178)

3x3 yapıcı eleman İle genleşme

7x7 yapıcı eleman İle genleşme

Kemirme

- İkili kemirme operatörü

$$g(x,y) = AND\left[W\{f(x,y)\}\right] := erode(f, W)$$

- Etkileri
  - 1 değerli objelerin boyunu küçült
  - Objenin sınırlarını düzgünleştir
  - Yarımadaları, parmakları ve küçük objeleri kaldır
- Genleşme ile ilişkisi
  - Çifteşlik: Kemirme, arka planın genleşmesidir

$$dilate(f,W) = NOT\left[erode(NOT[f],W)\right]$$

$$erode(f,W) = NOT\left[dilate(NOT[f],W)\right]$$

  - Fakat kemirme genleşmenin tersi değildir.

$$f(x,y) \neq erode(dilate(f,W),W)$$

$$\neq dilate(erode(f,W),W)$$

özellikler

Commutative – $D(\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}) = \boldsymbol{A} \oplus \boldsymbol{B} = \boldsymbol{B} \oplus \boldsymbol{A} = D(\boldsymbol{B},\boldsymbol{A})$

Non-Commutative – $E(\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}) \neq E(\boldsymbol{B},\boldsymbol{A})$

Associative – $\boldsymbol{A} \oplus (\boldsymbol{B} \oplus \boldsymbol{C}) = (\boldsymbol{A} \oplus \boldsymbol{B}) \oplus \boldsymbol{C}$

Translation Invariance – $\boldsymbol{A} \oplus (\boldsymbol{B} + \mathbf{x}) = (\boldsymbol{A} \oplus \boldsymbol{B}) + \mathbf{x}$

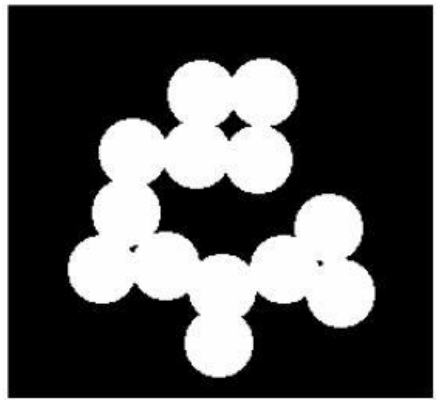
Duality –

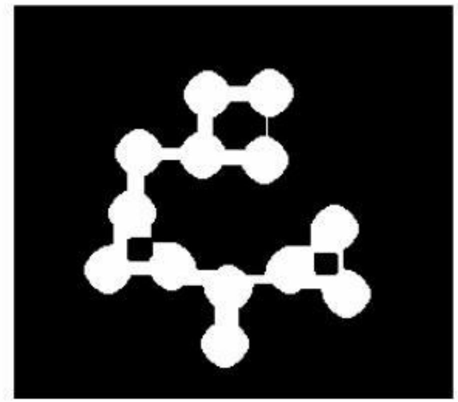
$$D^c(\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}) = E(\boldsymbol{A}^c, \tilde{\boldsymbol{B}})$$

$$E^c(\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}) = D(\boldsymbol{A}^c, \tilde{\boldsymbol{B}})$$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Örnek: Kemirme ile Nokta Bulutu Ayrımı/Algılama

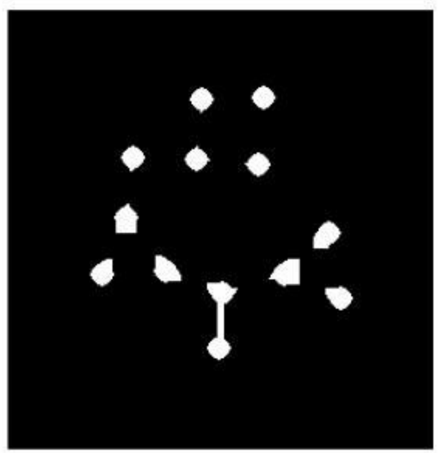
Orijinal
İkili çember
imgesi

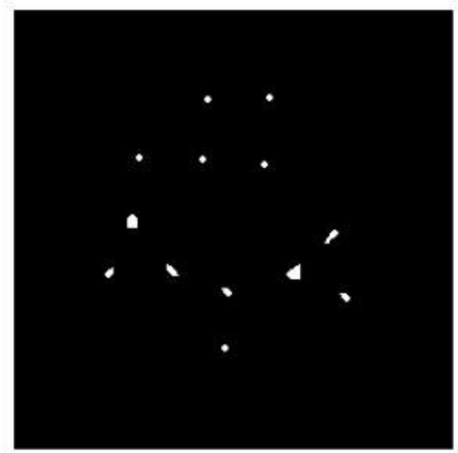




11x11 yapıcı
eleman ile
kemirme

21x21 yapıcı
eleman ile
kemirme





27x27 yapıcı
eleman ile
kemirme

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Teorik Küme Yorumu

- Obje piksel kümesi

$$F \equiv \{x, y : f(x, y) = 1\}$$

- Arka plan: Ön plan kümesinin tümleyeni

$$F^c \equiv \{x, y : f(x, y) = 0\}$$

- Genleşme Minkowski toplama kümesi (1903)

$$G = F \oplus \Pi_{xy}$$

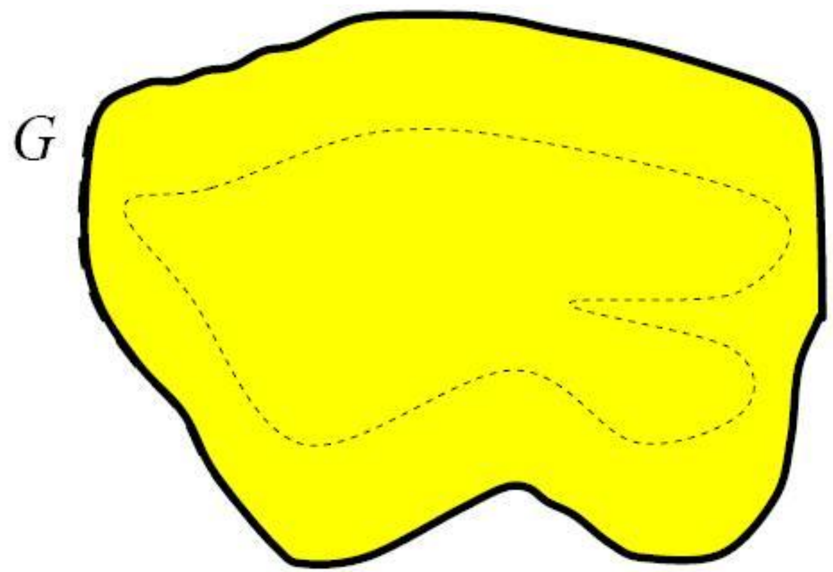
Değişimli ve çağrışımsal

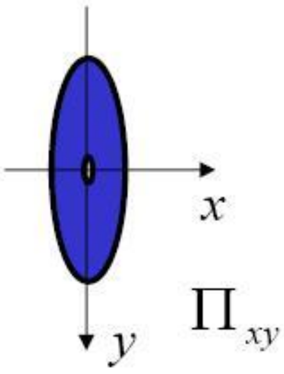
$$= \{(x + p_x, y + p_y) : (x, y) \in F, (p_x, p_y) \in \Pi_{xy}\}$$

$$= \bigcup_{(p_x, p_y) \in \Pi_{xy}} F_{+(p_x, p_y)}$$

Vektör (p_x, p_y) ile F in çevrimi

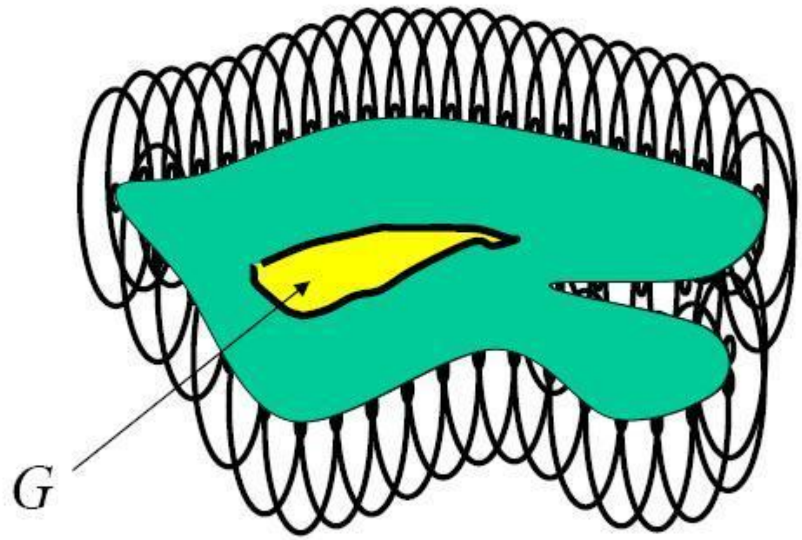
MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Teorik Küme Yorumu: Genleşme

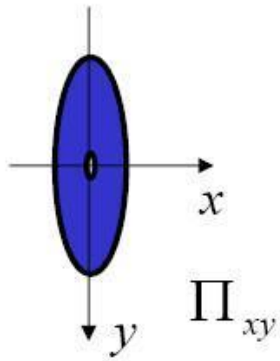




$$
\begin{aligned}
G &= F \oplus \Pi_{xy} \\
&= \left\{ \left(x + p_x , y + p_y \right) : \left(x, y \right) \in F , \left(p_x , p_y \right) \in \Pi_{xy} \right\} \\
&= \bigcup_{\left(p_x , p_y \right) \in \Pi_{xy}} F_{+\left(p_x , p_y \right)}
\end{aligned}
$$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Teorik Küme Yorumu: Kemirme





Değişimli ve çağrışımsal değil!

Minkowski Çıkarma Kümesi

$$G = \bigcap_{(p_x, p_y) \in \Pi_{xy}} F_{+(p_x, p_y)} = F \ominus \Pi_{-xy}$$

Ters yönde yapıcı eleman

Açma ve Kapama

- Amaç: Boyutu değiştirmeden düzleştirmek
- Filtrelemeyi aç

$$open(f,W) = dilate(erode(f,W),W)$$

- Filtrelemeyi kapat

$$close(f,W) = erode(dilate(f,W),W)$$

- Açma ve kapama filtreleri yanlılar
  - Açma filtresi küçük 1 bölgelerini kaldırır.
  - Kapama filtresi küçük 0 bölgelerini kaldırır.
  - Yanlı olmak genellikle algılama ve geliştirme için istenir.
- Yansız boy koruyucu düzleştiriciler

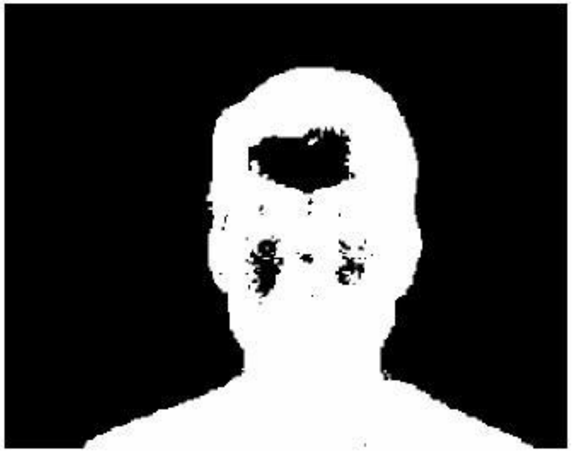
$$close-open(f,W) = close(open(f,W),W)$$

$$open-close(f,W) = open(close(f,W),W)$$

•Açma-kapama ve kapama-açma çifttir , fakat birbirlerinin tersi değillerdir.

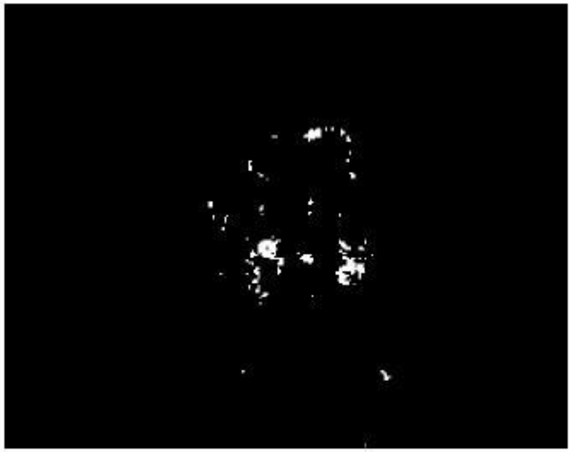
MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Kapama ile Küçük Delik Çıkarımı

Orijinal
İkili maske



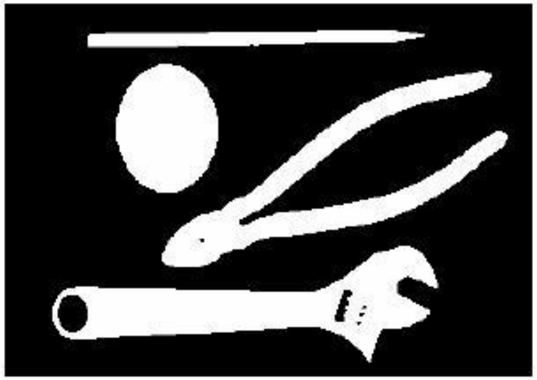
Genleşme
5x5

Orijinal
Maskeye göre
fark

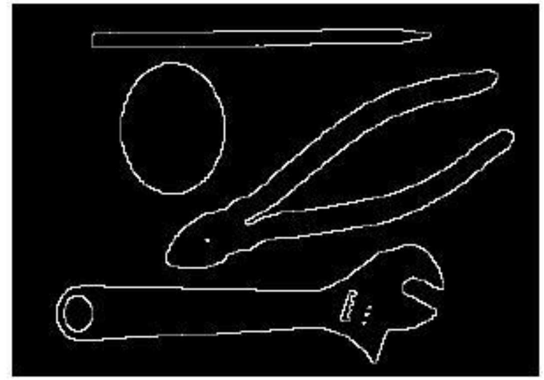


Kapama
5x5

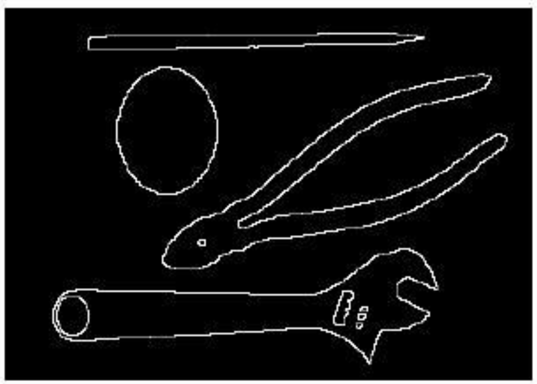
MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Morfolojik Kenar Detektörü



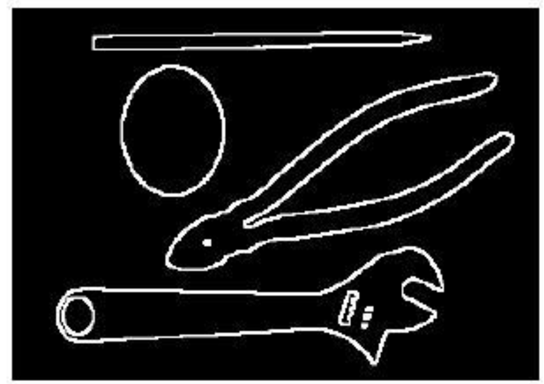
F



$(F \oplus \Pi) / F$



$F / (F \Theta \Pi)$



$(F \oplus \Pi) / (F \Theta \Pi)$

özellikleri

$$Duality - \quad \begin{aligned} C^c(A,\boldsymbol{B}) &= O(A^c,\boldsymbol{B}) \\ O^c(A,\boldsymbol{B}) &= C(A^c,\boldsymbol{B}) \end{aligned}$$

$$Translation - \quad \begin{aligned} O(A+\mathbf{x},\boldsymbol{B}) &= O(A,\boldsymbol{B})+\mathbf{x} \\ C(A+\mathbf{x},\boldsymbol{B}) &= C(A,\boldsymbol{B})+\mathbf{x} \end{aligned}$$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Çoğunluk Filtresi

- İkili çoğunluk filtresi

$$g(x,y) = MAJ\left[W\{f(x,y)\}\right] := majority(f,W)$$

- Etkiler
  - Genellikle objeleri küçültmez veya büyültmez
  - Obje sınırlarını düzleştirir
  - Küçük yarımadaları, yuvaları, küçük objeleri ve küçük delikleri kaldır
  - Açma-kapama veya kapama-açmaya göre daha az yanlı
- Özçifteşlilik

$$majority(f,W) = NOT\left[majority\left(NOT[f],W\right)\right]$$

- Gri düzey ortanca süzgecinin özel durumu

$$g(x,y) = median\left[W\{f(x,y)\}\right] := median(f,W)$$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Çoğunluk Filtresi Örnek

%5 "Tuz&Biber" Gürültüsü ile İkili Görüntü

3x3 Çoğunluk Filtresi

%20 "Tuz&Biber" Gürültüsü

3x3 Çoğunluk Filtresi

Hit – and – Miss işlemi

Hit-and-Miss –

$$HitMiss(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}_1, \boldsymbol{B}_2) = \begin{cases} E(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}_1) \cap E(\boldsymbol{A}^c, \boldsymbol{B}_2) \\ \\ E(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}_1) \bullet E(\overline{\boldsymbol{A}}, \boldsymbol{B}_2) \end{cases}$$

- B1 ve B2 yapı elemanı bağsızdır
- B1 n B2 = 0
- Ör. B1: template, B2: arkaplan

Örnek

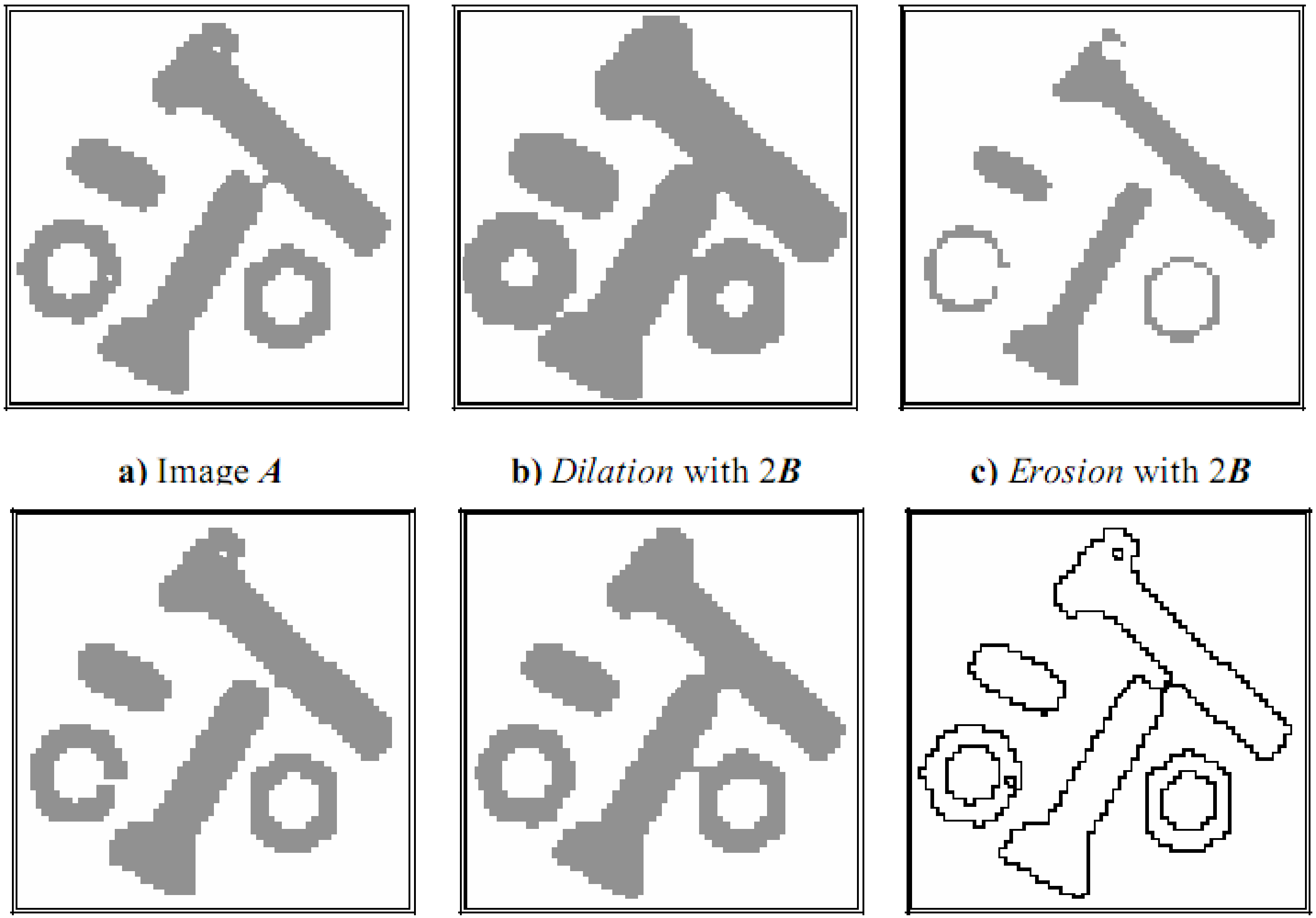
$$B = N_8 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \qquad B_1 = \begin{bmatrix} - & - & - \\ - & 1 & - \\ - & - & - \end{bmatrix} \qquad B_2 = \begin{bmatrix} - & 1 & - \\ 1 & - & 1 \\ - & 1 & - \end{bmatrix}$$

(a) (b) (c)

Figure 40: Structuring elements $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{B}_1$, and $\boldsymbol{B}_2$ that are 3×3 and symmet

- Yapı işlevleri simetriktir
- "-": önemsiz (don't care)

Örnek: 1: siyah ve 0: beyaz



a) Image ***A*** **b)** *Dilation* with 2***B*** **c)** *Erosion* with 2***B***

d) *Opening* with 2***B*** **e)** *Closing* with 2***B*** **f)** *8-c contour*: $A - E(A, N_8)$

Figure 41: Examples of various mathematical morphology operations.

örnek

- Opening: nesneleri ayırdı
- Closing: küçük boşlukları doldurdu
- Her iki işlem nesne kontörlerini yumuşattı
  - Opening: nesne kontörünün iç tarafından yumuşattı
  - Closing: nesne kontörünün dışından
- Hit-and-miss: N4 kontör piksellerini verir
  - Alternatif yaklaşım

$$\partial A = A - E\left(A, N_8\right)$$

$$\partial A = A - E\left(A, N_4\right)$$

İskelet

- Tanım olarak
  - Bir piksel kalınlığa sahip
  - Nesnenin ortasından geçen
  - Nesne topolojisini barındıran çizgidir
- Her zaman karşılanamayabilir

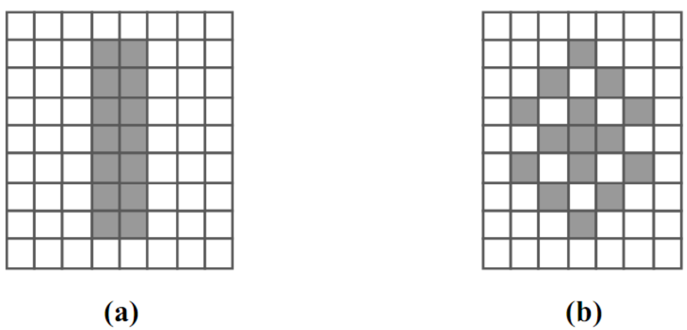


Figure 42: Counterexamples to the three requirements.

formül

Skeleton subsets – $\boldsymbol{S}_k(A) = E(A, k\boldsymbol{B}) - [E(A, k\boldsymbol{B}) \circ \boldsymbol{B}] \quad k = 0, 1, \ldots K$

- Burada K, Sk(A)’nın dolu olmasını sağlayan en büyük k değeridir
- B: yapı elemanı, genelde dairesel
- İskelet ise,

Skeleton – $$\boldsymbol{S}(A) = \bigcup_{k=0}^{K} \boldsymbol{S}_k(A)$$

Thinning

- Alternatif yol, inceltmeyi hit-and-miss ile yapmak

$$Thinning - \qquad Thin(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}_1, \boldsymbol{B}_2) = \boldsymbol{A} - HitMiss\left(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}_1, \boldsymbol{B}_2\right)$$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Tuz&Biber Gürültüsü ile Bozulmuş Görüntü

Orijinal görüntü

%5 bit rastgele aynalanmış

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Ortanca Süzgeci İle Gürültü Çıkarımı

3x3 ortanca süzgeci

7x7 ortanca süzgeci

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Gri Düzey İmgeler İçin Morfolojik Filtreler

- Gri düzey imge eşik kümesi $f(x,y)$

$$\mathrm{T}_\theta\left(f\left(x,y\right)\right)=\left\{\left(x,y\right):f\left(x,y\right)\geq\theta\right\},\qquad -\infty<\theta<+\infty$$

- Eşik değeri kümesinden orijinal imgenin yeniden inşası

$$f\left(x,y\right)=\sup\left\{\theta:\left(x,y\right)\in\mathrm{T}_\theta\left(f\left(x,y\right)\right)\right\}$$

- Çoklu dereceli sinyaller için morfolojik operatör fikri
    - Eşik kümelerine ayır
    - Her eşik kümesine ikili morfolojik operatörü uygula
    - Eküs operatörü ile yeniden inşa et
    - Elde edilen gri düzey operatörleri: düz operatörler

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Gri Düzey İmgeler İçin Genleşme

- Pratikte eşik kümesine belirgin ayrışım gerekmiyor
- Düz genleşme operatörü

$$T_\theta\left(f(x,y)\right)=\left\{(x,y):f(x,y)\geq\theta\right\},\qquad -\infty<\theta<+\infty$$

- Ayrık imge ve sonlu pencere için yerel maksimum
- Özel durumlarda ikili genleşme operatörü
- Genel genleşme operatörü

$$\begin{aligned} g(x,y) &= \sup_{\alpha,\beta}\left\{f(x-\alpha,y-\beta)+w(\alpha,\beta)\right\} \\ &= \sup_{\alpha,\beta}\left\{w(x-\alpha,y-\beta)+f(\alpha,\beta)\right\} \end{aligned}$$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Genleşme İçin Birim Dürtü

- Eğer genleşme doğrusal olmayan evrişim ise toplama ile yer değiştiren eküs ve çarpma ile yer değiştiren toplama ile hangi sinyal birim dürtüye karşılık geliyor?
- Usulen: Öyle bir $d(\alpha,\beta)$ bul ki

$$f(x,y)=\sup_{\alpha,\beta}\left\{f(x-\alpha,y-\beta)+d(\alpha,\beta)\right\}$$

- Cevap:

$$d(\alpha,\beta)=\begin{cases}0 & \alpha=\beta=0\\ -\infty & \text{else}\end{cases}$$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Özel Bir Durum Olarak Düz Genleşme

- Öyle bir $w(\alpha,\beta)$ bul ki:

$$f(x,y) = \sup_{\alpha,\beta}\left\{ f(x-\alpha, y-\beta) + w(\alpha,\beta) \right\} = dilate(f,W)$$

- Cevap:

$$w(\alpha,\beta) = \begin{cases} 0 & (\alpha,\beta) \in \Pi_{xy} \\ -\infty & \text{else} \end{cases}$$

- Genel olarak yazılırsa:

$$g(x,y) = \sup_{\alpha,\beta}\left\{ f(x-\alpha, y-\beta) + w(\alpha,\beta) \right\}$$

$$= dilate(f,w) = dilate(w,f)$$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Gri Düzey İmgeler İçin Kemirme

- Düz Kemirme Operatörü

$$g(x,y) = \inf \left\{ W \left\{ f(x,y) \right\} \right\} := erode(f, W)$$

- Ayrık imgeler ve sonlu pencere için yerel minimum
- Özel durumlar için ikili kemirme operatörü
- Genel kemirme operatörü

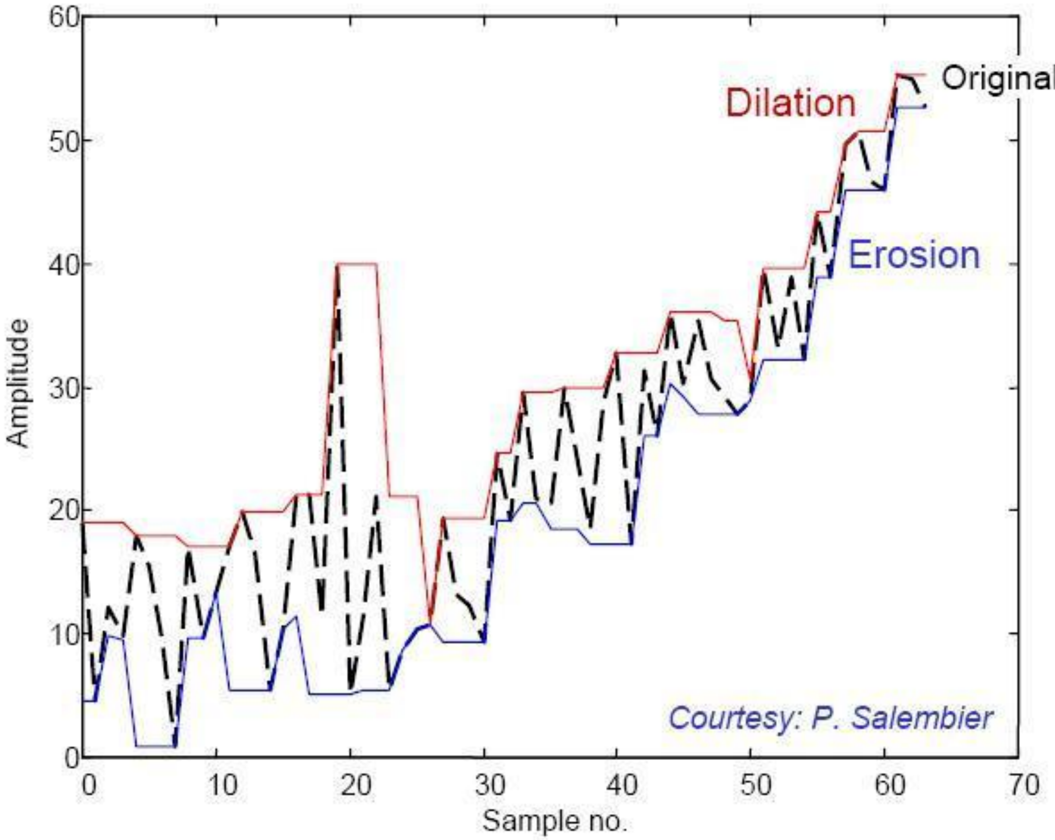
$$g(x,y) = \inf_{\alpha,\beta} \left\{ f(x-\alpha, y-\beta) - w(\alpha,\beta) \right\} = erode(f, w)$$

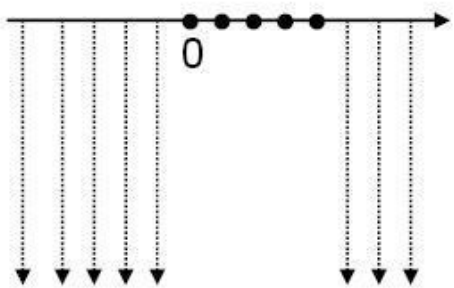
- Çiftli Genleşme

$$g(x,y) = \inf_{\alpha,\beta} \left\{ f(x-\alpha, y-\beta) - w(\alpha,\beta) \right\}$$

$$= -\sup_{\alpha,\beta} \left\{ -f(x-\alpha, y-\beta) + w(\alpha,\beta) \right\} = -dilate(-f, w)$$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), 1 Boyutlu Kemirme ve Genleşme Örnekleme



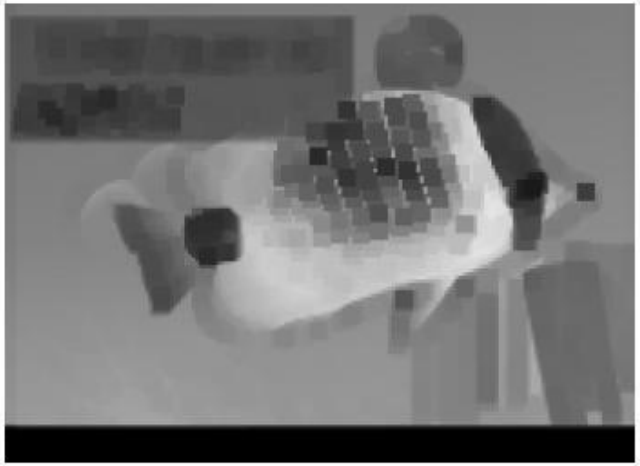


Yapıcı Eleman

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Örnek İmge

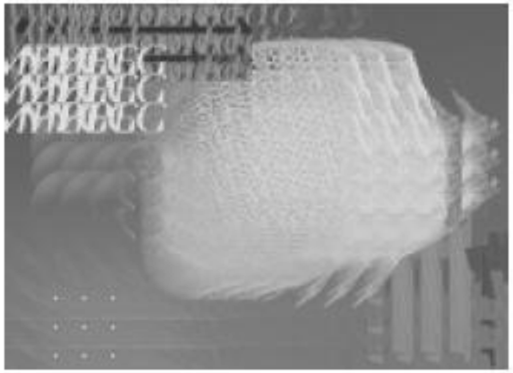
Orijinal

Genleşme



Kemirme

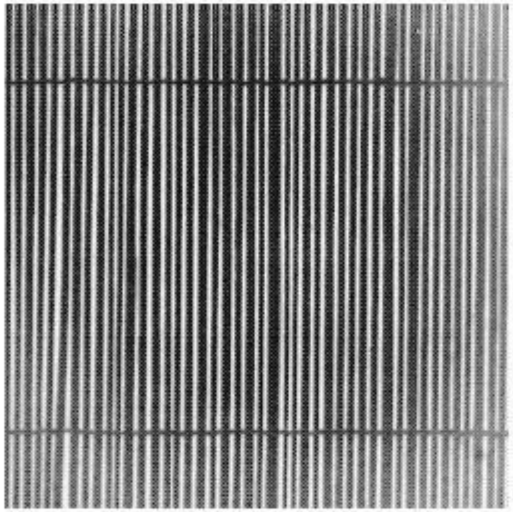
MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Değişik Yapıcı Elemanlar İle Düz Genleşme

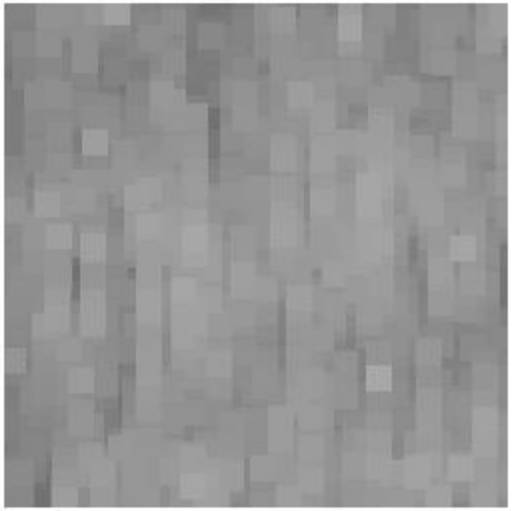


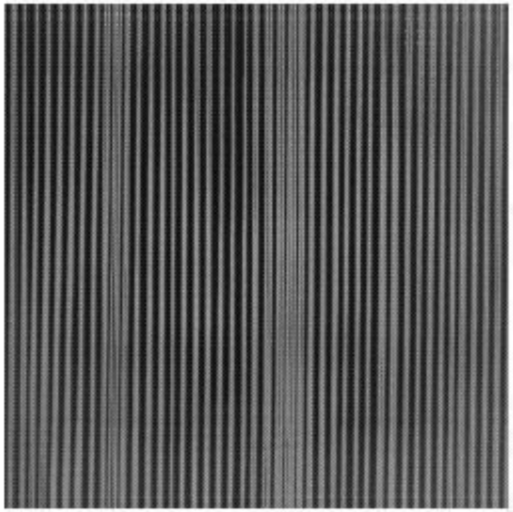
Orijinal

Kare ile genleşme

9 nokta ile genleşme







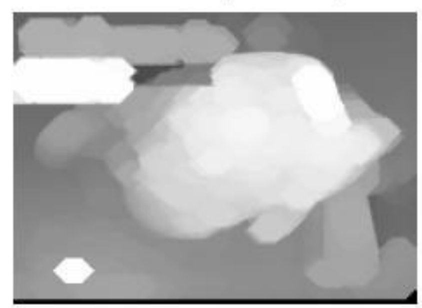
MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Ardı ardına Bağlanmış Genleşmeler

$$dilate\left[dilate\left(f, w_1\right), w_2\right]$$

$$= dilate\left(f, w\right) \quad \text{where } w = dilate\left(w_1, w_2\right)$$

$dilate\left(f, W_1\right)$

$dilate\left(f, W_1 \oplus W_2\right)$



$dilate\left(f, W_1 \oplus W_2 \oplus W_3\right)$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Ardı ardına Bağlanmış Kemirmeler

- Ardı ardına bağlanmış kemirmeler tek bir kemirmede toplanabilir.

$$
\begin{aligned}
erode\left[erode\left(f, w_1\right), w_2\right] &= erode\left[-dilate\left(-f, w_1\right), w_2\right] \\
&= -dilate\left[dilate\left(-f, w_1\right), w_2\right] \\
&= -dilate\left(-f, w\right) \\
&= erode\left(f, w\right) \\
\text{where} \quad w &= dilate\left(w_1, w_2\right)
\end{aligned}
$$

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Hızlı Genleşme ve Kemirme

- Fikir: Ardı ardına küçük ve kolay operatörler ile daha büyük genleşme ve kemirme operatörleri inşa edin
- Örnek:
  - 11x11 penceresi ile ikili kemirme (1 işlem geçişi)
  - Aynı şekilde
    - 3x1 penceresi ile 5 kemirme
    - 1x3 penceresi ile 5 kemirme
    - 10 işlem geçişi gerekiyor
  - Hesaplama
    - 11x11 penceresi ile 1 geçiş: Her piksel için 120 AND
    - 10 geçiş algoritması: 2x10 = Her piksel için 20 AND

MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Morfolojik Kenar Detektörü

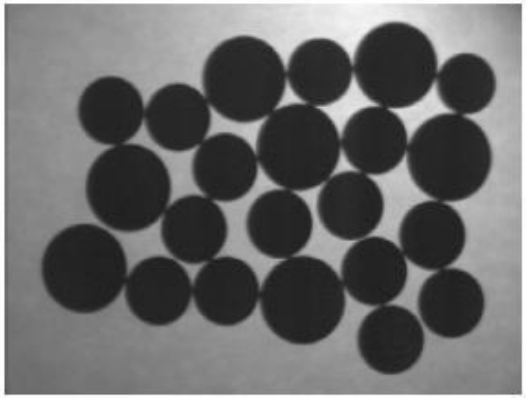
Orijinal f

Genleşme g

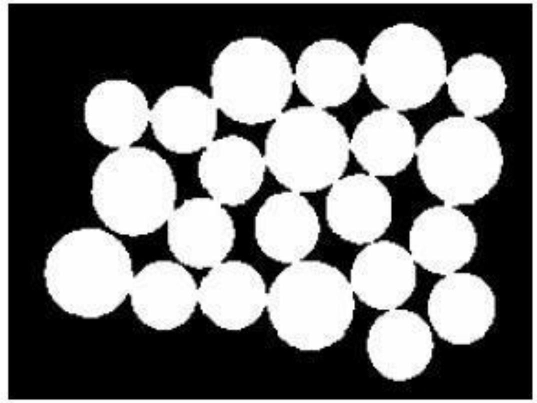
$g\text{-}f$

$(g\text{-}f)$ Eşiklenmiş

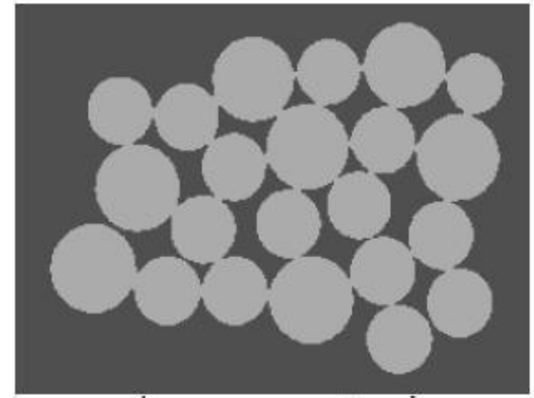
MORFOLOJİ (BİÇİM BİLİM), Uygulama Örneği: Bozuk para sayımı



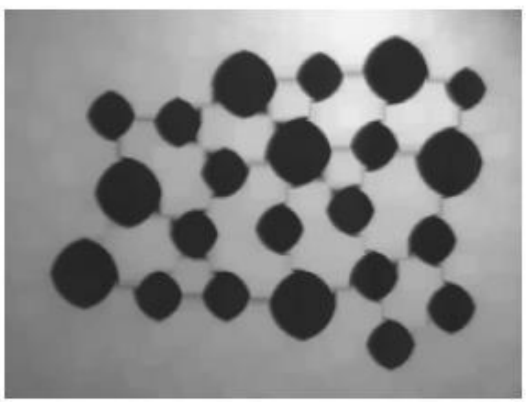
Orijinal



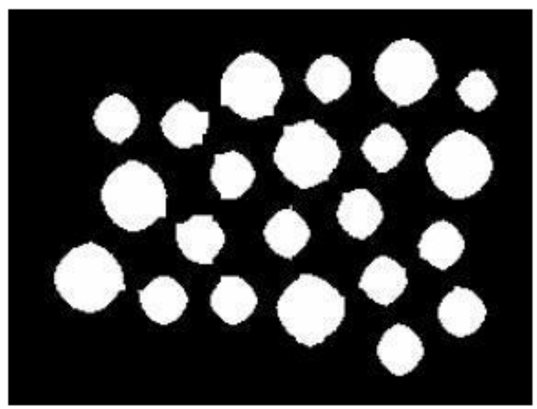
Eşiklenmiş



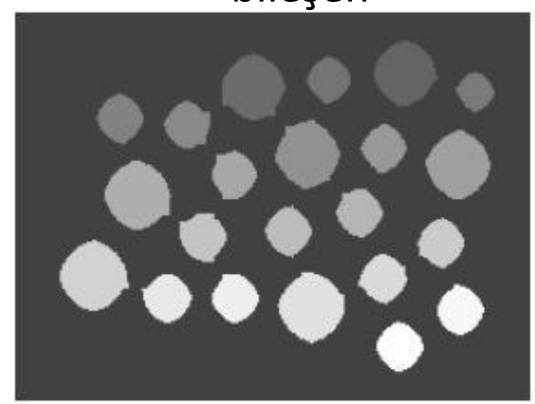
1 bağlantılı bileşen



Genleşme



Genleşmeden sonra eşiklenmiş



22 bağlantılı bileşen