SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME · BÖLÜM 3

Yoğunluk Dönüşümleri ve Uzamsal Filtreleme

Bölümde geçen bütün semboller ve terimler — İngilizce karşılıkları, Türkçeleri ve ne işe yaradıkları. Arama kutusu Türkçe karakter farkını yok sayar: **donusum** yazmak **dönüşüm**'ü de bulur.

Kaynak: R. C. Gonzalez & R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 4. Baskı, Bölüm 3 — *Intensity Transformations and Spatial Filtering*.

Dikkat: aynı harf, farklı anlam

Bölüm boyunca birkaç sembol iki ayrı anlamda kullanılır. Kitap bunlardan birini (*m*) dipnotta özellikle uyarır; gerisini okurun bağlamdan çıkarması beklenir. Sınavda ve ödevde en çok karışan yer burasıdır.

	ANLAM 1	ANLAM 2
s	çıkış yoğunluğu (3.2 – 3.3)	çekirdek satır koordinatı (3.4 – 3.5)
r	giriş yoğunluğu (3.2 – 3.3)	merkeze uzaklık, Gauss yazımında (3.5)
m	ortalama yoğunluk (3.3)	çekirdek satır sayısı (3.4)
M	görüntünün satır sayısı (genel)	gradyan büyüklüğü $M(x, y)$ (3.6)
c	logaritmik / gama ölçek sabiti (3.2)	Laplas ağırlığı, ±1 (3.6)
k	yoğunluk seviye indisi (3.3)	keskin olmayan maske ağırlığı (3.6)
G	hedef histogramın dönüşümü $G(z)$ (3.3)	Gauss fonksiyonu $G(s, t)$ (3.5)
σ	yoğunlukların standart sapması, kontrast ölçüsü (3.3)	Gauss çekirdeğinin yayılımı (3.5)

Genel notasyon

Bölüm boyunca geçen temel semboller

$f(x, y)$

Input image · **Giriş görüntüsü**

İşlenecek özgün görüntü. (x, y) uzamsal koordinat, f o koordinattaki yoğunluk değeridir.

$g(x, y)$	**Output / processed image** · Çıkış görüntüsü İşlem sonucu elde edilen görüntü: $g(x,y) = T[f(x,y)]$.
(x, y)	**Spatial coordinates** · Uzamsal koordinatlar Satır–sütun konumu. Kitapta x satır, y sütun yönünü gösterir; MATLAB'ın (satır, sütun) sırasıyla uyumludur.
T	**Transformation operator** · Dönüşüm operatörü (x, y) merkezli bir komşulukta tanımlı işlem. Komşuluk 1 × 1 olduğunda yoğunluk dönüşüm fonksiyonuna indirgenir.
M, N	**Number of rows / columns** · Satır ve sütun sayısı Görüntü boyutu $M \times N$.
MN	**Total number of pixels** · Toplam piksel sayısı Histogramı normalize ederken bölen olarak kullanılır.
L	**Number of intensity levels** · Yoğunluk seviye sayısı 8 bit görüntüde $L = 256$. Seviyeler 0'dan başladığı için en büyük değer $L - 1$'dir.
$[0, L-1]$	**Intensity range** · Yoğunluk aralığı 0 siyah, $L - 1$ beyaz. 8 bit için [0, 255].
r	**Input intensity level** · Giriş yoğunluk seviyesi Dönüşümden önceki piksel değeri. Kitabın şekillerinde yatay eksen: *Input intensity levels, r*.
s	**Output intensity level** · Çıkış yoğunluk seviyesi Dönüşümden sonraki değer. Şekillerde düşey eksen: *Output intensity levels, s*.
k	**Intensity level index** · Yoğunluk seviye indisi r_k, s_k, n_k ifadelerindeki alt indis; $k = 0, 1, \ldots, L - 1$.
S_{xy}	**Neighborhood centered at (x, y)** · (x, y) merkezli komşuluk Yerel histogram eşitleme ve yerel istatistik yöntemlerinde işlemin tanımlandığı pencere.

3.2 Yoğunluk dönüşümleri

Nokta işlemleri: negatif, log, gama, parçalı doğrusal

$s = T(r)$	**Intensity transformation function** · Yoğunluk dönüşüm fonksiyonu Bütün nokta işlemlerinin genel biçimi. Eğrinin dikliği kontrastı belirler: dik bölgeler kontrastı artırır, yatay bölgeler bastırır.

$s = L - 1 - r$

Image negative · **Görüntü negatifi**

Yoğunluk ölçeğini ters çevirir. Kendi tersidir (negatifin negatifi özgün görüntüdür) ve kayıpsızdır.

$s = c \log(1 + r)$

Log transformation · **Logaritmik dönüşüm**

Dar bir düşük yoğunluk aralığını geniş bir aralığa yayar, yüksek değerleri sıkıştırır. Fourier spektrumu gösteriminde standarttır.

c

Scaling constant · **Ölçek sabiti**

Sonucu [0, L − 1] aralığına oturtur: $c = (L - 1) / \log(1 + R_{\text{maks}})$.

$s = c\, r^{\gamma}$

Power-law (gamma) transformation · **Kuvvet yasası (gama) dönüşümü**

Tek parametreyle geniş bir dönüşüm ailesi. $\gamma < 1$ karanlık bölgeleri açar, $\gamma > 1$ parlak bölgeleri bastırır, $\gamma = 1$ özdeşliktir.

γ

Gamma · **Gama**

Eğrinin şeklini belirleyen üs. Ekranların doğal gaması tipik olarak 1.8 – 2.5'tir; gama düzeltmesi bunu tersiyle iptal eder.

$(r_1, s_1), (r_2, s_2)$

Control points · **Kontrol noktaları**

Parçalı doğrusal kontrast germe fonksiyonunun kırılma noktaları. $r_1 = r_2$ seçilirse fonksiyon eşiklemeye döner.

$[A, B]$

Slicing range · **Dilimleme aralığı**

Yoğunluk düzeyi dilimlemede öne çıkarılan yoğunluk bandı.

MSB / LSB

Most / least significant bit · **En anlamlı / en az anlamlı bit**

8 bitlik görüntüde 8. düzlem MSB, 1. düzlem LSB'dir. Görsel bilginin çoğu üst 2–3 bitte toplanmıştır; kayıplı sıkıştırmanın çıkış noktası budur.

3.3 Histogram işleme

Histogram, eşitleme, eşleme ve yerel istatistikler

$h(r_k) = n_k$

Unnormalized histogram · **Normalize edilmemiş histogram**

Her yoğunluk seviyesinde kaç piksel bulunduğu.

n_k

Pixel count at level r_k · **r_k seviyesindeki piksel sayısı**

Histogramın çubuk yüksekliği.

$p(r_k) = n_k / MN$

Normalized histogram · **Normalize histogram**

Yoğunluk olasılığının tahmini; bütün değerlerin toplamı 1'dir.

$p_r(r)$

PDF of the input image · **Giriş görüntüsünün olasılık yoğunluk fonksiyonu**

Sürekli formülasyonda kullanılır. Ayrık karşılığı normalize histogramdır.

$p_s(s)$	**PDF of the output image** · **Çıkış görüntüsünün PDF'i** Histogram eşitlemesi sonrası teorik olarak düzgün (uniform) dağılımdır; ayrık durumda ancak yaklaşık olarak.
$p_z(z)$	**Specified (target) PDF** · **Belirtilen (hedef) PDF** Histogram eşlemesinde ulaşılmak istenen dağılım.
$s_k = (L-1)\sum p_r(r_j)$	**Histogram equalization** · **Histogram eşitleme** $j = 0 \ldots k$ üzerinden kümülatif toplam. Hesap tamamen histogramdan yapılır; başka parametre gerekmez, yöntem otomatiktir.
CDF	**Cumulative distribution function** · **Kümülatif dağılım fonksiyonu** Eşitleme dönüşümünün kendisi. Tek artan olduğu için yoğunluk sıralamasını korur; kesin artansa tersinirdir.
z	**Intensity of the specified image** · **Hedef görüntünün yoğunluğu** Histogram eşlemesinde çıkış değişkeni.
$G(z_q)$	**Transformation of the specified histogram** · **Hedef histogramın dönüşümü** Hedef PDF'in kümülatif toplamı. Eşlemenin ikinci adımı.
$z = G^{-1}(s)$	**Inverse mapping** · **Ters haritalama** Eşlemenin son adımı: eşitlenmiş değerden hedef yoğunluğa geri dönüş.
m	**Mean intensity** · **Ortalama yoğunluk** Ortalama parlaklık ölçüsü. Kitap özellikle uyarır: çekirdek satır sayısını gösteren m ile karıştırmayın.
σ^2, σ	**Variance, standard deviation** · **Varyans, standart sapma** Kontrast ölçüsü. Dar bir histogram küçük σ, geniş bir histogram büyük σ verir.
μ_n	**nth moment** · **n. moment** Ortalama etrafındaki n. moment. μ_2 varyanstır.
m_G, σ_G	**Global mean / standard deviation** · **Küresel ortalama / standart sapma** Tüm görüntünün histogramı üzerinden hesaplanır; kaba parlaklık ve kontrast ayarları için kullanılır.
$m_{S_{xy}}, \sigma_{S_{xy}}$	**Local mean / standard deviation** · **Yerel ortalama / standart sapma** S_{xy} komşuluğu üzerinden hesaplanır. Yerel iyileştirmenin temelidir.
k_0, k_1, k_2, k_3	**Threshold constants** · **Eşik sabitleri** Hangi pikselin yükseltileceğini belirleyen negatif olmayan sabitler: $k_0 m_G \le m_S \le k_1 m_G$ ve $k_2 \sigma_G \le \sigma_S \le k_3 \sigma_G$.

C	**Enhancement constant** · Yükseltme sabiti Koşulu sağlayan piksel bu sabitle çarpılır; sağlamayanlar değiştirilmez.

3.4 Uzamsal filtreleme

Çekirdek, korelasyon, konvolüsyon, ayrılabilirlik

$w(s, t)$	**Filter kernel** · Filtre çekirdeği Komşuluk üzerindeki ağırlıklar dizisi. Literatürdeki eş anlamlıları: *mask*, *template*, *window*, *filter*.
$m \times n$	**Kernel size** · Çekirdek boyutu $m = 2a + 1$, $n = 2b + 1$. Tek sayı seçilir ki benzersiz bir merkez olsun.
a, b	**Kernel half-extents** · Çekirdek yarı genişlikleri $a = (m - 1)/2$, $b = (n - 1)/2$. Toplama sınırlarını verir: $s = -a \dots a$, $t = -b \dots b$.
s, t	**Kernel coordinates** · Çekirdek koordinatları Çekirdek içindeki göreli konum. Çıkış yoğunluğunu gösteren s ile karıştırmayın — bölüm içinde aynı harf iki farklı anlamda kullanılır.
$w(0, 0)$	**Center coefficient** · Merkez katsayı İşlenen pikselin tam üstüne gelen katsayı.
$w \star f$	**Correlation** · Korelasyon Kaydır–çarp–topla işlemi. Birim dürtüyle korelasyon, çekirdeğin **döndürülmüş** hâlini verir.
$w \star f$	**Convolution** · Konvolüsyon Çekirdek önce 180° döndürülerek yapılan korelasyon. Birim dürtüyle konvolüsyon çekirdeğin **aynısını** verir. Simetrik çekirdeklerde ikisi aynıdır.
δ	**Unit impulse** · Birim dürtü Merkezi 1, kalanı 0 olan dizi. Yüksek geçiren çekirdek $\delta -$ (alçak geçiren) ile elde edilir.
$w = w_1 \, w_2^{\mathrm{T}}$	**Separable kernel** · Ayrılabilir çekirdek Çekirdek iki vektörün çarpımıysa 2-B filtreleme ardışık iki 1-B filtrelemeye iner. Hesap kazancı $mn/(m+n)$.
$\mathrm{padding}$	**Padding** · Dolgulama Çekirdeğin kenarda taşan kısmı için görüntüyü genişletme. Üç yaygın yöntem: sıfır (*zero*), ayna (*mirror*), tekrarlama (*replicate*).
$(M+m-1) \times (N+n-1)$	**Full correlation / convolution size** · Tam sonuç boyutu Kırpılmamış sonucun boyutu. Pratikte merkezden $M \times N$'lik bir pencere kırpılır.

3.5 Düzgünleştirme

Alçak geçiren filtreler ve gürültü

$1/(mn)$

Box (averaging) kernel · **Kutu (ortalama) çekirdeği**

Tüm katsayıları eşit ve toplamı 1 olan en basit alçak geçiren çekirdek. Yönlü yapay etkiler üretir.

$G(s,t) = K\, e^{-(s^2+t^2)/2\sigma^2}$

Gaussian kernel · **Gauss çekirdeği**

Hem dairesel simetrik hem ayrılabilir olan tek çekirdek ailesi. İki Gauss'un konvolüsyonu yine bir Gauss'tur.

K

Amplitude constant · **Genlik sabiti**

Genellikle $K = 1$ alınır; normalizasyon katsayı toplamının 1'e bölünmesiyle yapılır.

σ

Standard deviation (spread) · **Standart sapma (yayılım)**

Bulanıklığın derecesini belirler. Pratik kural: çekirdek boyutu ≈ 6σ × 6σ, en yakın tek sayıya yuvarlanmış.

$r = (s^2 + t^2)^{1/2}$

Radial distance · **Merkeze uzaklık**

Gauss'un dairesel simetrik yazımı: $G(r) = K\, e^{-r^2/2\sigma^2}$. Giriş yoğunluğunu gösteren r ile karıştırmayın.

medyan / maks / min

Order-statistic filters · **Sıra istatistiği filtreleri**

Doğrusal değildir: komşuluktaki değerler sıralanır ve biri seçilir. Medyan, tuz-biber gürültüsünde ortalama filtresinden çok üstündür.

salt-and-pepper

Salt-and-pepper (impulse) noise · **Tuz-biber (uç değerli) gürültü**

Rastgele piksellerin 0 (biber) veya $L - 1$ (tuz) yapılması.

3.6 Keskinleştirme

Türevler, Laplas, maskeleme, gradyan

$\partial f/\partial x$

Partial derivative · **Kısmi türev**

Ayrık biçimi $f(x+1, y) - f(x, y)$. Sabit bölgelerde sıfırdır.

$\nabla^2 f$

Laplacian · **Laplas operatörü**

$\partial^2 f/\partial x^2 + \partial^2 f/\partial y^2$. En basit izotropik ikinci türev operatörü; çekirdek katsayılarının toplamı sıfırdır.

c

Laplacian weight · **Laplas ağırlığı**

$g = f + c\nabla^2 f$. Merkez katsayı negatifse $c = -1$, pozitifse $c = +1$. Logaritmik dönüşümdeki c ile aynı harf, farklı anlam.

$f(x, y)$	**Blurred image** · **Bulanıklaştırılmış görüntü** Keskin olmayan maskelemede özgün görüntüden çıkarılan düzgünleştirilmiş kopya.
$g_{\text{mask}}(x, y)$	**Unsharp mask** · **Keskin olmayan maske** $g_{\text{mask}} = f - \bar{f}$. Yüksek frekans bileşenini taşır.
$k\ (k \geq 0)$	**Mask weight** · **Maske ağırlığı** $g = f + k\, g_{\text{mask}}$. $k = 1$ keskin olmayan maskeleme, $k > 1$ yüksek destekli (highboost), $k < 1$ etkiyi azaltır.
∇f	**Gradient vector** · **Gradyan vektörü** $[g_x, g_y]^T$. En hızlı değişimin yönünü gösterir.
g_x, g_y	**Gradient components** · **Gradyan bileşenleri** $\partial f/\partial x$ ve $\partial f/\partial y$; pratikte Sobel çekirdekleriyle hesaplanır.
$M(x, y)$	**Gradient magnitude** · **Gradyan büyüklüğü** $\sqrt{(g_x^2 + g_y^2)} \approx \lvert g_x \rvert + \lvert g_y \rvert$. Satır sayısını gösteren M ile karıştırmayın.
Sobel	**Sobel operators** · **Sobel operatörleri** Merkez satır/sütuna 2 ağırlığı veren 3 × 3 çekirdekler. Düzgünleştirme içerdiği için gürültüye Roberts'tan daha dayanıklıdır.
Roberts	**Roberts cross-gradient** · **Roberts çapraz gradyanı** 2 × 2 çapraz fark çekirdekleri. Hızlıdır ama çift boyutlu olduğu için benzersiz merkezi yoktur ve gürültüye duyarlıdır.
zero crossing	**Zero crossing** · **Sıfır geçişi** İkinci türevin işaret değiştirdiği nokta. Basamak kenarının konumunu verir; kenar bulmada kullanılır.

3.7 Filtre türleri

Alçak geçirenden türetilen diğer filtreler

lowpass	**Lowpass filter** · **Alçak geçiren filtre** Düşük frekansları geçirir, yüksekleri bastırır — yani bulanıklaştırır. Çekirdek katsayılarının toplamı 1'dir.
highpass	**Highpass filter** · **Yüksek geçiren filtre** $\delta -$ (alçak geçiren). Keskinleştirir. Katsayı toplamı 0'dır, bu yüzden sabit bölgelerde tepkisi sıfırdır.
bandreject	**Bandreject filter** · **Bant durduran filtre** Alçak geçiren + yüksek geçiren. Orta bandı bastırır.

bandpass	**Bandpass filter** · **Bant geçiren filtre** δ – (bant durduran). Yalnızca orta bandı geçirir.
transfer function	**Transfer function** · **Transfer fonksiyonu** Filtrenin frekans alanındaki tepkisi. Geçirilen aralık *passband*, bastırılan aralık *stopband*.
zone plate	**Zone plate** · **Zone plate test deseni** Merkezden dışa doğru frekansı artan desen. Bir filtrenin hangi frekansları geçirdiğini gözle okumayı sağlar.

Genel terimler

Sembolü olmayan, sık kullanılan kavramlar

spatial domain	**Spatial domain** · **Uzamsal alan** Piksellerin doğrudan işlendiği düzlem. Frekans alanının (Bölüm 4) karşıtıdır.
point processing	**Point processing** · **Nokta işlemleri** Komşuluğun 1 × 1 olduğu durum: her piksel yalnızca kendi değerine bakılarak dönüştürülür.
neighborhood	**Neighborhood** · **Komşuluk** Bir pikselin etrafındaki, çekirdeğin kapsadığı bölge.
kernel	**Kernel / mask / filter / template / window** · **Çekirdek / maske / filtre** Aynı şeyin farklı adları. Kitap *kernel* terimini tercih eder.
dynamic range	**Dynamic range** · **Dinamik aralık** Bir görüntüdeki en büyük ve en küçük yoğunluğun oranı. Ekranın dinamik aralığını aşan veriler logaritmik dönüşümle sıkıştırılır.
contrast	**Contrast** · **Kontrast** Yoğunlukların yayılımı; standart sapmayla ölçülür. Parlaklıktan bağımsızdır.
saturation	**Saturation / clipping** · **Doyma / kırpılma** Değerlerin 0 veya L – 1'de takılıp kalması. Geri dönüşü olmayan bilgi kaybıdır.
thresholding	**Thresholding** · **Eşikleme** Tek bir eşikle ikili (siyah-beyaz) görüntü üretme. Kontrast germenin limit hâlidir.
segmentation	**Segmentation** · **Bölütleme** Görüntüyü anlamlı bölgelere ayırma. Düzgünleştirme + eşikleme bunun en basit örneğidir.

shading correction	**Shading correction** · **Gölge düzeltmesi** Düzgün olmayan aydınlatmanın giderilmesi: görüntüyü, geniş bir alçak geçiren filtrenin verdiği gölge tahminine bölmek.
isotropic	**Isotropic** · **İzotropik** Dönmeden bağımsız. Laplas ve Gauss operatörleri izotropiktir: görüntüyü döndürüp işlemek ile işleyip döndürmek aynı sonucu verir.
separable	**Separable** · **Ayrılabilir** İki 1-B işleme ayrışabilen. Hem kutu hem Gauss çekirdeği ayrılabilirdir.
smoothing	**Smoothing / blurring** · **Düzgünleştirme / bulanıklaştırma** Bir tür integralleme. Gürültüyü azaltır, ayrıntıyı siler.
sharpening	**Sharpening** · **Keskinleştirme** Bir tür türev alma. Ayrıntıyı vurgular, gürültüyü de yükseltir.
enhancement	**Enhancement** · **İyileştirme** Görüntüyü belirli bir amaç için daha kullanışlı hâle getirme. Öznel bir ölçüttür: bir uygulama için iyi olan başkası için kötü olabilir.
halo	**Halo / ringing** · **Halka etkisi** Aşırı keskinleştirmede kenarların çevresinde oluşan parlak ve koyu şeritler.
gamma correction	**Gamma correction** · **Gama düzeltmesi** Gösterim cihazının kuvvet yasası tepkisini, görüntüye tersini uygulayarak iptal etme.
histogram matching	**Histogram matching / specification** · **Histogram eşleme / belirtme** Çıkış histogramını, düzgün dağılım yerine bizim belirlediğimiz bir şekle yaklaştırma.
bit-plane slicing	**Bit-plane slicing** · **Bit düzlemi dilimleme** Görüntüyü, her biri ikili olan bit düzlemlerine ayırma.
intensity-level slicing	**Intensity-level slicing** · **Yoğunluk düzeyi dilimleme** Belirli bir yoğunluk bandını öne çıkarma.
contrast stretching	**Contrast stretching** · **Kontrast germe** Dar bir yoğunluk aralığını ekranın tüm dinamik aralığına yayma.
padding yöntemleri	**Zero / mirror / replicate padding** · **Sıfır / ayna / tekrarlama dolgulaması** Sıfır dolgulama kenarda koyu bir bant bırakır; ayna ve tekrarlama doğal görünür. Geniş çekirdeklerde fark dramatiktir.

Semboller kitaptaki gibi italik serif dizilmiştir: matematiksel değişkenler italik, operatör ve fonksiyon adları düz.

3. baskıda *gray level* (gri seviye) denen şeye 4. baskıda *intensity* (yoğunluk) deniyor — eski kaynaklarda *gray-level transformation* görürsünüz, yenilerinde *intensity transformation*. İkisi aynı şeydir.