

Dijital Görüntü Sıkıştırma Nedir?

Dijital görüntü sıkıştırma, görüntü dosyasının boyutunu küçültmek için gereksiz veya tekrarlayan verileri kaldırma işlemidir. Bu işlem sayesinde depolama alanından tasarruf edilir, veri iletimi hızlanır ve görüntü kalitesinden minimum ödün verilerek daha verimli bir kullanım sağlanır.

Sıkıştırmayı Sağlayan Prensipler

- Mekansal Korelasyon

Görüntüdeki komşu pikseller genellikle birbirine benzerdir. Bu benzerlik, tekrar eden bilgilerin daha az yer kaplayacak şekilde kodlanmasını sağlar.

- Spektral Korelasyon

Özellikle çoklu spektral bantlardan (örneğin uydu görüntüleri) alınan veriler arasında fazlalık olabilir. Bu tür spektral benzerlikler de sıkıştırma ile azaltılabilir.

Sıkıştırma Sistemi Bileşenleri

- Sıkıştırıcı (Encoder)

1. Ön İşleme: Görüntü üzerindeki gürültülerin giderilmesi, parlaklık düzenlemesi ve nicemleme işlemleri yapılır.
2. Haritalama (Mapping): Benzer pikseller gruplandırılır veya dönüştürülerek daha verimli bir biçime getirilir.
3. Kodlama: İşlenmiş veri, belirli algoritmalarla sıkıştırılarak daha az yer kaplayan bir formata dönüştürülür.

- Açıcı (Decoder)

1. Kod Çözme: Sıkıştırılmış veriler tekrar görüntü haline getirilir.
2. Son İşleme: Gerekirse görüntü kalitesini artırmak için düzeltmeler yapılır.

Kodlama Teknikleri

- Nicemleme (Quantization)

Sürekli değerleri sınırlı sayıda temsil eder. Bu işlemde bazı küçük detaylar kaybolabilir, bu yüzden genellikle kayıplı sıkıştırma yöntemlerinde kullanılır.

- Sabit Uzunlukta Kodlama

Her veri parçası eşit uzunlukta kodlanır. Basit ancak verimli olmayan bir yöntemdir.

- Değişken Uzunlukta Kodlama

Veride daha sık geçen öğeler kısa kodlarla temsil edilir. Huffman ve Golomb gibi kodlama yöntemleri bu yapıdadır.

Görüntü Sıkıştırma Türleri

Kayıpsız Sıkıştırma

-Veri kaybı olmadan orijinal görüntü tam olarak geri elde edilir.

-Piksel verisi değiştirilmez, yalnızca daha verimli şekilde temsil edilir.

-Kullanım Alanları: Tıbbi görüntüler (MRI, CT), belge arşivleme, bilimsel görseller

Neredeyse Kayıpsız (Near-Lossless) Sıkıştırma

-Çok az veri kaybı yaşanır, kayıplar insan gözüyle fark edilemeyecek kadar küçüktür.

-Orijinal görüntüye çok yakın sonuçlar elde edilir.

-Kullanım Alanları: Tıbbi görüntüleme, uzaktan algılama, mühendislik uygulamaları

Kayıplı Sıkıştırma

-Veri kaybı yaşanır, görüntüde bazı ayrıntılar silinir.

-Görsel kalite biraz azalır ancak daha yüksek sıkıştırma oranı sağlar.

-Kullanım Alanları: Web görselleri, sosyal medya, harita servisleri, video akışı

Kayıpsız Sıkıştırma Yöntemleri

Huffman Kodlama

Huffman kodlama, sembollerin olasılıklarına dayalı olarak değişken uzunlukta kodlar atayan bir entropi kodlama yöntemidir. Daha sık karşılaşılan sembolere daha kısa, nadir sembolere ise daha uzun kodlar verilir. Aşamalar şu şekildedir:

1. Sembollerin olasılıkları hesaplanır.
2. Bu olasılıklar ile düğümler oluşturulur.
3. En düşük olasılıklı düğümler birleştirilir.
4. Ağaç yapısı tamamlandığında kodlar atanır.

Huffman kodlama, verimli ve kayıpsız sıkıştırma sağlar. Özellikle JPEG formatlarında kullanılmaktadır.

Aritmetik Kodlama

Aritmetik kodlama, veriyi 0 ile 1 arasında bir aralık olarak temsil eder. Her sembol, bu aralığı olasılıklarına göre daraltır ve sonuçta ortaya çıkan tek bir sayı, tüm mesajı temsil eder. Örneğin $\{a_1, a_2, a_3\}$ sembolleri için farklı aralıklar tanımlanır ve bu işlem mesajın sonuna kadar devam eder.

Avantajları:

Daha yüksek sıkıştırma oranı sağlar.

Huffman'dan daha verimlidir.

Dezavantajları:

Hesaplaması daha karmaşıktır.

Bit hatalarına karşı hassastır.

JPEG ve JBIG gibi standartlarda aritmetik kodlama yaygın olarak kullanılır.

Kayıpsız Tahminsel Kodlama

Bu yöntemde, bir pikselin değeri, komşu piksellerin yardımıyla tahmin edilir. Gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki fark (hata) kodlanarak iletilir. Bu yöntem kayıpsızdır çünkü orijinal değer geri elde edilebilir.

Verici, pikseli tahmin eder ve farkı gönderir.

Alıcı, farkı ve tahmini birleştirerek pikseli geri üretir.

Bu yöntem gereksiz bilgiyi azaltarak sıkıştırma sağlar.

Kayıplı Sıkıştırma Yöntemleri

Predictive Coding (Öngörü Kodlama)

Predictive coding, yüksek korelasyonlu piksel değerlerini tahmin ederek hata sinyali kodlar. Bu hata, daha düşük bitlerle temsil edilebildiği için veri sıkıştırılır. Lineer tahminler genellikle kullanılır; daha karmaşık uygulamalarda doğrusal olmayan tahminler tercih edilir.

İki Boyutlu DPCM (Differential Pulse Code Modulation)

DPCM yöntemi, bir pikselin değerini dört komşu piksel kullanarak tahmin eder. Elde edilen hata kodlanır. Bu yöntem adaptif hâle getirilerek bozulmaların (granülite, eğim aşırı yükleme, kenar meşgulliyeti) etkisi azaltılır.

Dönüşüm Kodlama (Transform Coding)

Dönüşüm kodlama, görüntüyü frekans alanına dönüştürerek bazı katsayıların sıfıra yakın hâle gelmesini sağlar. Bu işlem üç aşamadan oluşur:

- Görüntü bloklara ayrılır.
- Her blok dönüşüm matrisleri ile işlenir.
- Katsayılar nicemlenip kodlanır.

Dönüşüm Matrisleri:

1. Karhunen–Loeve (KLT): Teorik olarak en iyi dönüşümdür ama hesaplama maliyeti yüksektir.
2. Fourier Dönüşümü (DFT): Görüntüyü frekans bileşenlerine ayırır.
3. Walsh-Hadamard (DWHT): Hızlı ve düşük maliyetlidir.
4. Kosinüs Dönüşümü (DCT): JPEG gibi formatlarda en yaygın kullanılan dönüşümdür.

Tekil Değer Ayrışımı (SVD)

Bir matrisi daha küçük ve anlamlı parçalara ayıran bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle görüntü sıkıştırma gibi uygulamalarda kullanılır. SVD, büyük veri kümelerini daha küçük ve verimli hale getirerek işlemenin daha hızlı ve kolay olmasını sağlar.

- SVD Nasıl Çalışır?

Bir matris A şu üç matrise ayrılır:

1. U : Sol tekil vektörlerinin matrisi.
2. S : Tekil değerlerin olduğu diyagonal matris.

3. V^T : Sağ tekil vektörlerinin matrisi.

Bu üç matrisin çarpımı, orijinal matrisi yeniden oluşturur: $A=U \times S \times V^T = U \times S \times V^T$

U ve V ortonormal matrislerdir, yani sütunları birbirine dik ve birim uzunluktadır.

S matrisinde, matrisin önemli değerleri yer alır.

Vektör Kuantizasyonu (VQ)

Yüksek boyutlu veriyi daha düşük boyutlu, sıkıştırılmış bir biçime dönüştürmek için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik, verileri benzerliklerine göre gruplandırarak her veriyi bir "kod kelimesi" veya "kod vektörü" ile temsil eder. Skaler kuantizasyonun bir genellemesi olan VQ, veriyi k-boyutlu vektörler halinde işler.

Özellikler:

Veri Kümeleme: VQ, verileri benzer vektörler (bloklar) halinde kümeler.

Kod Kitaplığı: Veriler, kod kitaplığındaki vektörlere (kod kelimeleri) karşılık gelir.

Kuantizasyon: Her veri vektörü, kod kitaplığındaki en yakın vektöre eşlenir.

Optimizasyon: VQ, giriş verisi ile çıkış arasındaki distorsiyonu minimize eder, bu sayede sıkıştırma sağlar.

Hibrit Kodlama

Hibrit Kodlama, dönüşüm kodlaması ve DPCM yöntemlerini birleştirerek daha verimli görüntü sıkıştırma sağlar. Resimler önce dönüşümle yatay gereksizliklerden arındırılır, ardından DPCM ile dikey gereksizlikler giderilir. Hata sinyali kuantize edilip iletilir, alıcıda tahmin edilen katsayılar ve kuantize edilmiş hata birleştirilerek orijinal değerler elde edilir.

Kayıplı Sıkıştırma Sonrası Kalite Değerlendirme

Görüntü sıkıştırma işlemlerinde, özellikle kayıplı sıkıştırma sonrasında elde edilen görüntünün kalitesinin değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu değerlendirme iki ana yöntemle yapılır: nesnel (objective) ve öznel (subjective) ölçütler.

Nesnel Kriterler (Objective Metrics)

Bu yöntemler, görüntüdeki bozulmayı matematiksel olarak ölçer ve genellikle referans görüntü ile karşılaştırmalı olarak hesaplanır.

-Ortalama Kare Hatası (MSE): Sıkıştırılmış görüntü ile orijinal görüntü arasındaki piksel farklarının karesinin ortalamasıdır. Hata değeri büyüdükçe kalite düşer.

-Sinyal-Gürültü Oranı (SNR): Orijinal sinyalin gücünün gürültüye oranını ifade eder. Yüksek SNR daha iyi kalite anlamına gelir.

-Zirve Sinyal-Gürültü Oranı (PSNR): MSE'ye dayalı olarak hesaplanır ve genellikle dB (desibel) cinsinden ifade edilir. Görüntü kalitesini nesnel olarak değerlendirmenin en yaygın yoludur.

Öznel Kriterler (Subjective Metrics)

Nesnel ölçütler her zaman insan algısını yansıtmaz. Bu nedenle, insan gözünün değerlendirmesine dayanan öznel testler de kullanılır:

-Bozulma Testleri: Görüntüdeki bozulma seviyesi değerlendirilir.

-Kalite Testleri: Katılımcılar görüntüleri puanlayarak kaliteyi derecelendirir.

-Karşılaştırma Testleri: İki görüntü yan yana gösterilerek tercih edilen görüntü belirlenir.

Sonuç olarak, kalite ölçütleri sıkıştırma algoritmalarının performansını değerlendirmek için kullanılır. MSE, SNR ve PSNR gibi nesnel ölçütler hızlı ve hesaplama dayalı çözümler sunarken, insan algısını yansıtmak için öznel testlerle desteklenmeleri önerilir.

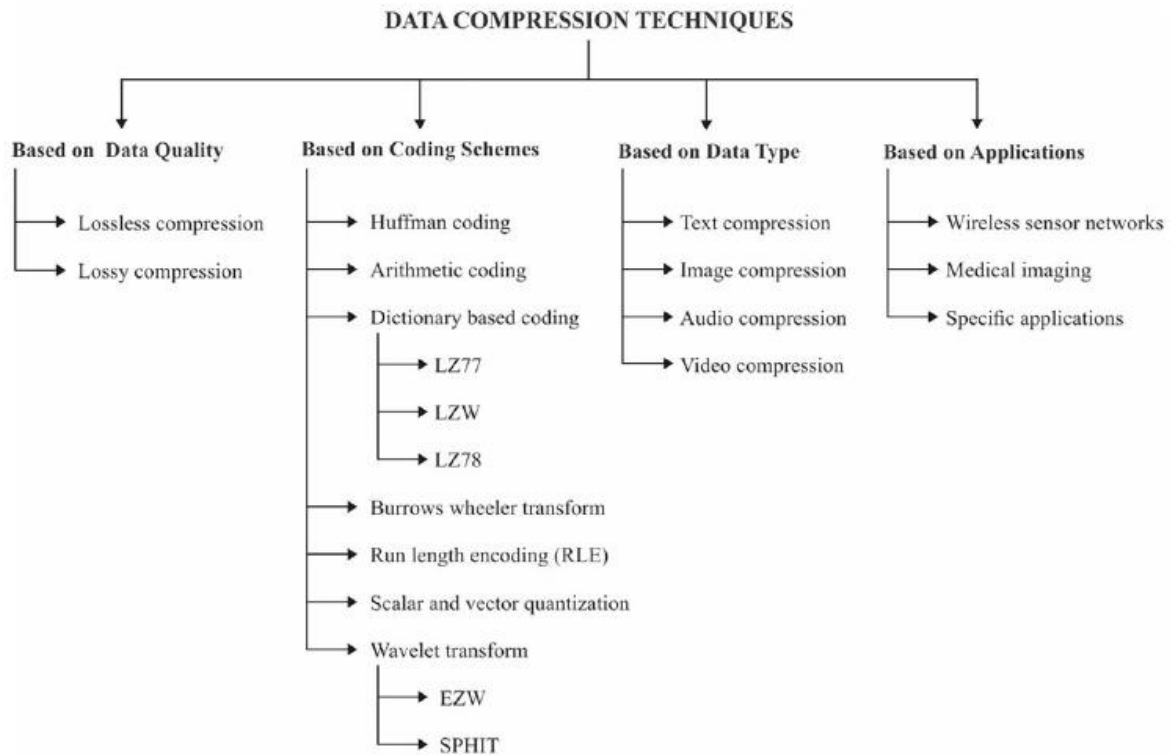


Fig. 2. Classification of DC techniques.

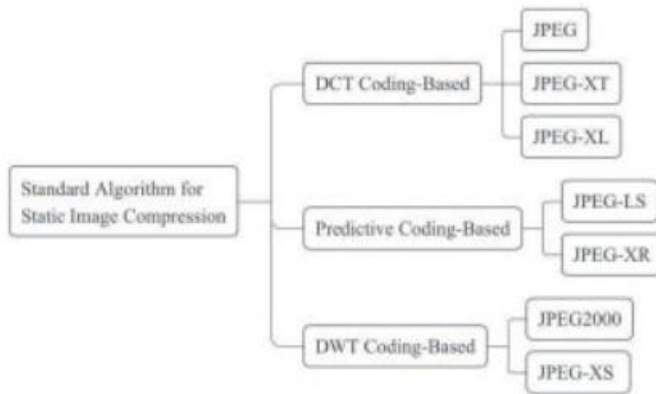
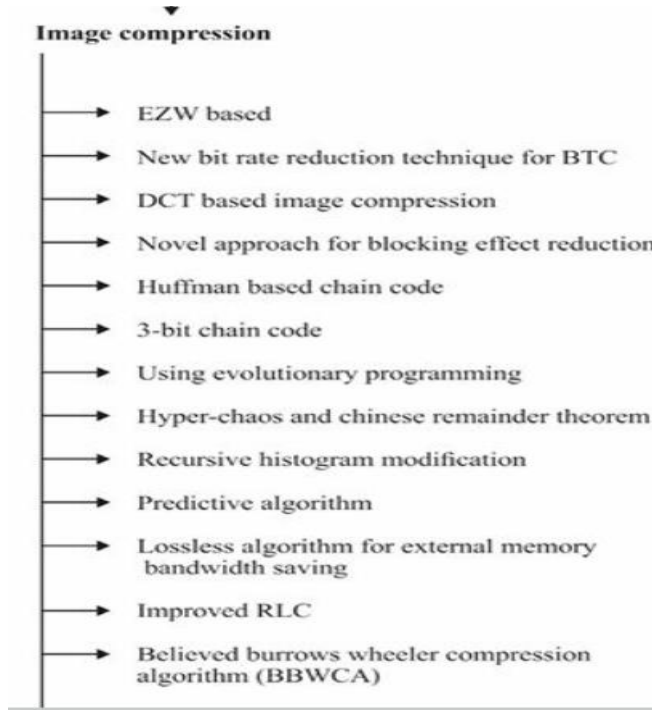
Statik Görüntü Sıkıştırma Algoritmaları

Statik görüntü sıkıştırma, zaman içinde değişmeyen **tek bir görüntüyü** sıkıştırma yöntemidir. (örn. bir fotoğraf)

Fotoğraftaki listedeki yöntemler de **çoğunlukla statik görüntüler için geçerlidir**, yani hareketli görüntüler (video) değil.

Statik görüntü sıkıştırma, dijital görüntülerin daha az yer kaplamasını ve daha hızlı iletilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu süreçte gereksiz veriler kaldırılarak dosya boyutu küçültülür, böylece hem depolama hem de aktarım verimliliği artar.

Sıkıştırma algoritmaları üç temel gruba ayrılır. DCT tabanlı kodlama, görüntüyü küçük bloklara ayırarak gereksiz bilgileri filtreler. Tahmine dayalı kodlama, piksel değerlerini tahmin ederek veri fazlalığını azaltır. DWT tabanlı kodlama ise görüntüyü frekans bileşenlerine ayırarak daha yüksek sıkıştırma oranı sunar.



DCT Kodlama: Sinyal ve görüntü sıkıştırma için kullanılan bir matematiksel tekniktir. Bir sinyali veya görüntüyü farklı frekans ve genliklere sahip kosinüs fonksiyonlarının ağırlıklı toplamına ayırır. Genellikle 8x8 piksel gibi küçük bloklara uygulanır. Bu bloklar üzerinde DCT uygulandıktan sonra, elde edilen katsayılar nicemlenir (quantization). Bu işlem, yüksek frekans bileşenlerinin hassasiyetini azaltır ve bazı yüksek frekans bileşenleri atılır. Sonuç olarak, görüntüdeki gereksiz bilgiler (yüksek frekans bileşenleri) azaltılırken, görsel kalite korunur.

Format	Temel Özellikler	Avantajlar	Dezavantajlar
JPEG	<ul style="list-style-type: none">- 8x8 bloklara ayrılır- DCT uygulanır- Quantization ve Huffman kodlama yapılır	<ul style="list-style-type: none">- Yüksek sıkıştırma (10:1+)- Hızlı işlem süresi	<ul style="list-style-type: none">- Kayıplı sıkıştırma- Bloklama artefaktları- Küçük görsellerde verim düşüklüğü
JPEG-XT	<ul style="list-style-type: none">- JPEG ile uyumlu- HDR desteği- Temel + Uzatma katmanı- Kayıplı/kayıpsız	<ul style="list-style-type: none">- HDR görüntü desteği- Daha yüksek hassasiyet ve dinamik aralık	<ul style="list-style-type: none">- Daha karmaşık yapı- Daha yüksek hesaplama gereksinimi
JPEG-XL	<ul style="list-style-type: none">- Modern ve çok yönlü- XYZ renk modeli- ANS entropi kodlama- Kayıplı/kayıpsız	<ul style="list-style-type: none">- Daha yüksek kalite- Donanım hızlandırmasına gerek yok- HDR, 360°, pano desteği	<ul style="list-style-type: none">- Yeni standart (2019), henüz yaygın değil

Tahmine Dayalı Kodlama: Önceki verilere dayanarak bir sonraki veriyi tahmin eden ve tahmin hatasını kodlayarak veri fazlalığını azaltan bir sıkıştırma tekniğidir. Kayıpsız bir yöntemdir, yani bilgi kaybı olmaz. Metin, ses, görüntü ve video gibi sürekli veri akışlarında yaygın olarak kullanılır. Tahmin modelinin doğruluğu, sıkıştırma verimliliğini belirler, ancak daha doğru modeller daha fazla hesaplama gerektirebilir.

Format	Temel Özellikler	Avantajlar	Dezavantajlar
JPEG-LS	<ul style="list-style-type: none"> - Kayıpsız / yakın kayıpsız - Komşu piksel tahmini - Golomb kodlama - Tekrar uzunluğu modu 	<ul style="list-style-type: none"> - Basit ve tekdüze görüntülerde yüksek sıkıştırma - Düşük karmaşıklık, yüksek performans 	<ul style="list-style-type: none"> - Kayıplı modda sınırlı kullanım - Zengin içerikli görüntülerde daha fazla kaynak kullanımı
JPEG-XR	<ul style="list-style-type: none"> - LBT dönüşümü - Uyarlanabilir tahmin - HDR ve geniş renk desteği - Çok kanallı renk desteği 	<ul style="list-style-type: none"> - Daha az hesaplama gereksinimi - Geniş renk derinliği ve dinamik aralık - JPEG2000'e göre daha verimli 	<ul style="list-style-type: none"> - JPEG kadar yaygın değil

DWT Kodlama: DWT, görüntüleri **farklı frekans bileşenlerine** ayırarak sıkıştırma yapan bir yöntemdir. DCT' den farklı olarak , hem düşük hem de yüksek frekansları (örneğin, detaylar ve kenarlar) etkili şekilde yakalar. Bu sayede, **keskin kenarlar** gibi görüntünün yerel özelliklerini korur. **Veri miktarını azaltırken görüntü kalitesini** korur.

Tıbbi görüntüler ve uzaktan algılama gibi hassas alanlarda kullanılır.

JPEG2000 (ISO/IEC 15444)

- Blok yerine tüm görüntü üzerinde işlem yapar.
- Kayıplı ve kayıpsız sıkıştırma desteği sunar.
- Yüksek frekanslarda sert bloklar yerine yumuşak bulanıklık üretir.

Avantajlar:

- Yüksek sıkıştırma oranı (50:1'e kadar)
- Blok artefaktı yok
- Kademeli (progressive) yükleme
- JPEG'e göre daha yüksek PSNR (görüntü kalitesi)

Kullanım Alanları:

Tıbbi görüntüleme (MRI, CT)

Uydu görüntüleri, dijital arşivleme

JPEG-XS (ISO/IEC 21122)

-DWT ile görüntüyü alt bantlara ayırır.

-Lineer tahmin ve nicemleme ile hızlı ve etkili sıkıştırma yapar.

-Gerçek zamanlı uygulamalar için geliştirilmiştir.

Avantajlar:

Düşük gecikme, hızlı sıkıştırma

Yüksek kalite

Kayıplı ve kayıpsız modlar

Kullanım Alanları:

Otomotiv kameraları, VR sistemler

Tıbbi ve endüstriyel görüntüleme

İlgi Bölgesi (Region of Interest)

Hibrit görüntü sıkıştırma, tıbbi görüntüleme için hayati öneme sahiptir, çünkü kritik tanı bilgileri korunurken dosya boyutunun optimize edilmesi gerekmektedir.

Görüntü, önemli tıbbi detayları içeren İlgi Bölgesi (ROI) ve daha az önemli arka planı kapsayan İlgi Dışı Bölge (RONI) olarak ikiye ayrılır.

Tüm görüntüye uygulanan geleneksel kayıpsız sıkıştırma, düşük sıkıştırma oranlarına ve yüksek bant genişliği gereksinimlerine yol açar.

ROI tabanlı sıkıştırma, İlgi Bölgesi'ne kayıpsız, İlgi Dışı Bölge'ye ise kayıplı sıkıştırma uygulayarak verimliliği artırır, böylece kritik detaylar korunurken dosya boyutu azaltılmış olur.

Doğru ROI tespiti çok önemlidir, çünkü hatalar hayati tanısal verilerin kaybına neden olabilir; seçim yöntemleri arasında bölge büyümesi, belirginlik haritaları veya manuel tanımlama yer alır.

Sıkıştırılmış görüntünün açılması süreci bu adımları tersine çevirir ve daha iyi görüntü kalitesi ve güvenliği sağlamak için filtreleme, gürültü azaltma gibi ek iyileştirmeler içerebilir.

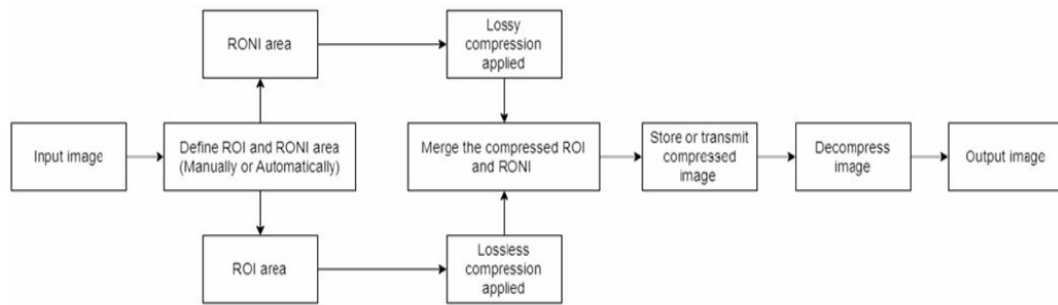
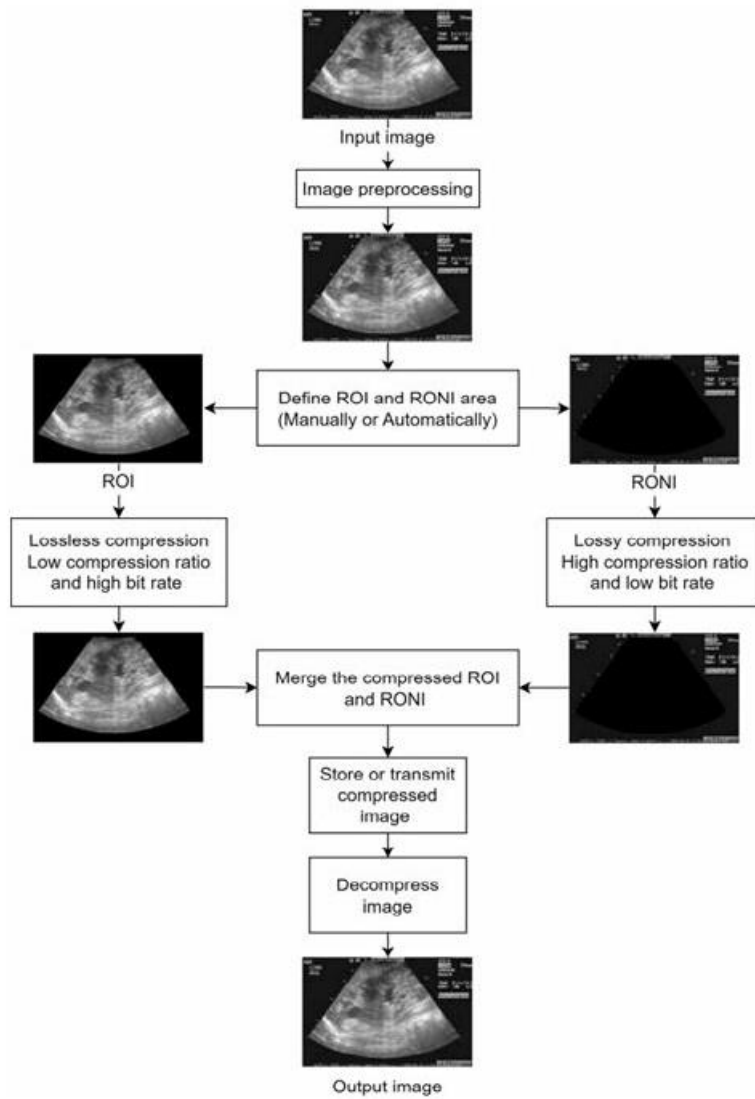


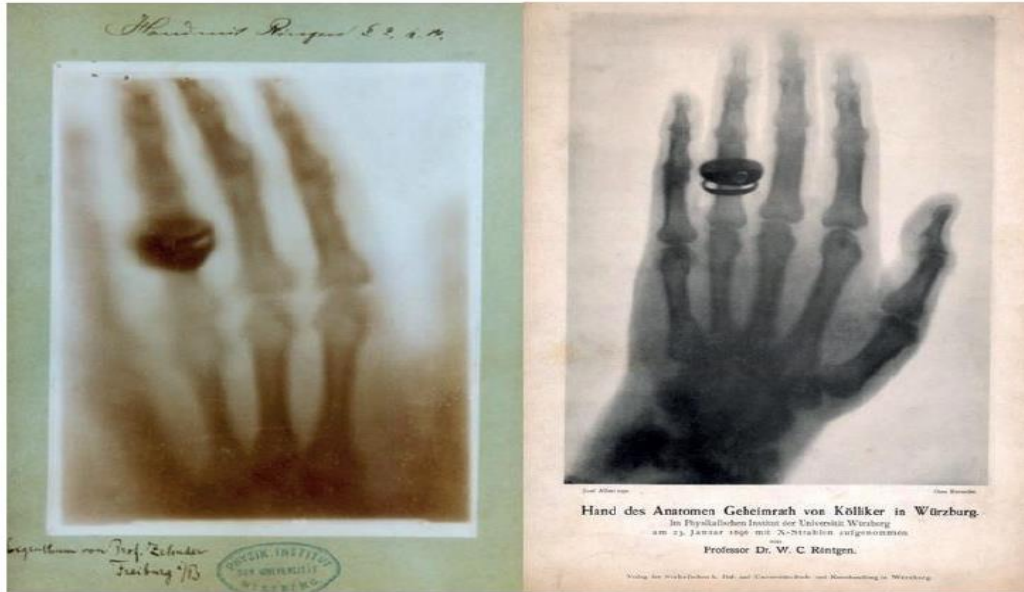
Figure 1. Region-of-interest-based-compression/decompression approach.



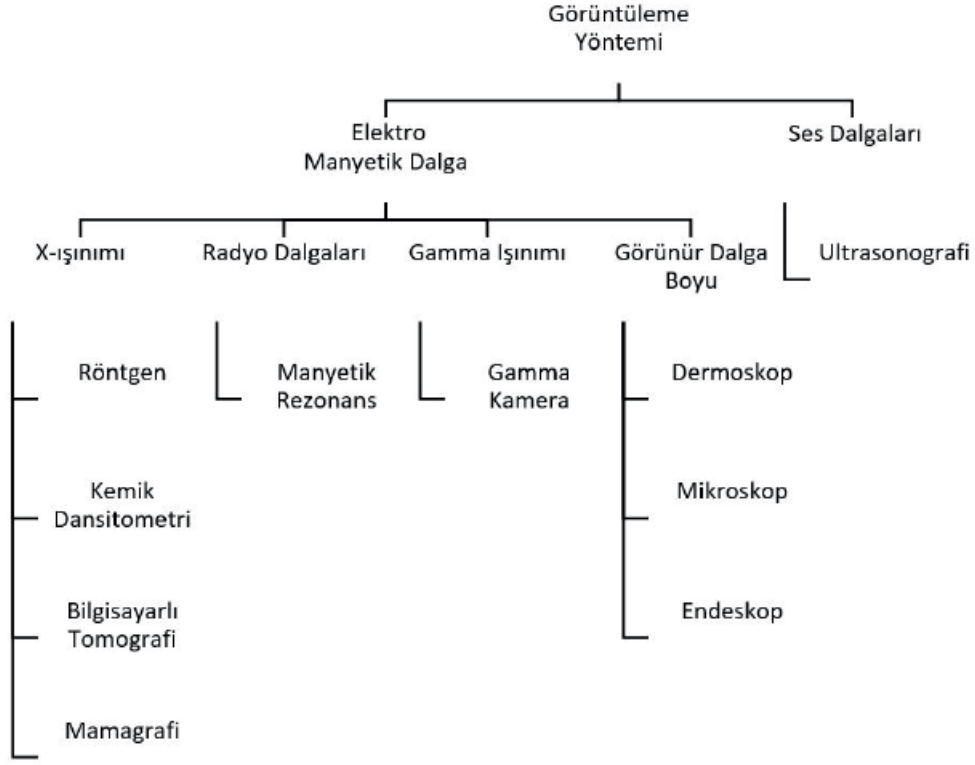
Görüntü İşleme

Görüntü, en basit haliyle tanımlanacak olursa, bir sayısal görüntü genellikle iki boyutlu olan ancak daha fazla boyut da içerebilen bir koordinat düzlemi üzerinde bulunan, her bir farklı noktaların bir tamsayı değer içeren yoğunluklar ile eşleyen fonksiyonlardır (Gonzales & Woods, 2018). Bu koordinat düzlemi içerisinde bulunan her bir noktaya görüntü elemanı anlamına gelen piksel (*pixel*) adı verilmektedir.

Yapılan bu tanım gri renk uzayı denilen siyah beyaz veya gri tonlamalı (gri seviyeli) olarak adlandırılan, beyazdan siyaha doğru değişik gri tonlamalar ile aktarılan, tek kanallı (düzlemli) görüntülerdir. Özel bir durum olarak renkler sadece 0 ve 1'lerden oluşursa bu görüntülere ikili (*binary*) görüntü adı verilir. Bu tanım farklı kanallar eklenerek genişletebilir böylelikle sayısal görüntü işlemede renk uzayı (*color space*) olarak adlandırılan gösterimler ortaya çıkar. Eğer bir önceki tanımda kullanıldığı gibi tek kanal yerine örneğin kırmızı (*Red*, R), yeşil (*Green*, G) ve mavi (*Blue*, B) renk kanallarını eklenirse bu durumda görüntüler renkli hale gelmektedir. Sayısal görüntü işlemede kırmızı, yeşil ve mavi kanallardan oluşan görüntüler “RGB renk uzayında görüntüler” olarak adlandırılmaktadır. RGB renk uzayındaki görüntüler insan gözünün algılamasına uygun olmamasına rağmen günümüz donanımlarında renk oluşumunu kolaylaştırdığı için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Görüntü işlemede yaygın olarak kullanılan bir başka renk uzayı HSV’dir. Bu renk uzayın tanımlanmasının en önemli unsuru insan gözü ışığın baskın dalga boyuna tonu (*Hue*, H), rengin saflığına yani doygunluk değerine (*Saturation*, S) ve parlaklık değerine (*Value*, V) daha duyarlı olmasından dolayıdır. Yaygın olarak kullanılmakta olan bu üç renk uzayının dışında kullanım amaçlarına göre başka renk uzayları da mevcuttur. Tıbbi görüntüleme, kullanılan yönteme bağlı olarak, genellikle tek kanallı olarak beyazdan siyaha uzanan gri tonlardan oluşmaktadır. Her görüntüleme yöntemi farklı enerji ve/veya farklı teknoloji ile görüntü oluşturduğundan, görüntülerdeki gri tonlamasının anlamı da kullanılan buna bağlı olarak göre değişmektedir.



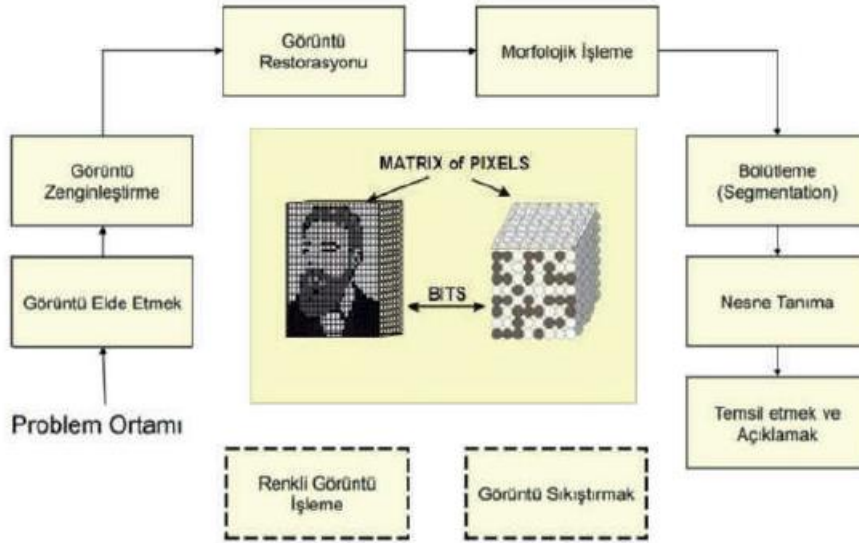
Şekil 1. Solda Berta Röntgen'in el x-ışınım çekimi sağda Albert Kölliker'e ait x-ışınım çekimi yer almaktadır (Deutsche, 2020)



Tablo 1. Tıbbi görüntüleme yöntemlerinin sınıflandırılması

X-Işınları

X-ışınları tıbbi görüntüleme yöntemlerinin en eski ve yaygın kullanılan yöntemidir. Bu ışınlar vücuttan geçme özelliğine sahip olmakla geçtikleri ortamların yoğunluğuna bağlı olarak değişime uğradıklarından ışıının toplandığı detektör olarak adlandırılmış olan algılayıcılarda vücutun iç yapısına ait görüntüleme elde edilmektedir (Bilgici vd., 2020). X-ışınımı ile elde edilen görüntüler gri tonlamalı şeklinde görüntülenmekte olan üç değişik doku derinliğini göstermektedir. Görüntünün içerisinde bulunan beyaz yapılar genel olarak kemikli ve kireçli yapıları göstermektedir. Gri tonlar yumuşak doku barındıran organ gibi yapıları göstermektedir. Siyah bölgeler ise içinde hava barındıran yapıları göstermektedir. Böylelikle yumuşak ve sert dokuların tespitinde yoğun olarak kullanılmaktadırlar



Şekil 1. Görüntü İşleme Aşamaları

Görüntü işleme genel olarak düşük, orta ve yüksek seviye olarak gruplandırılabilir. Genellikle, görüntü alımından sonra başlayan düşük seviyeli işlemler çeşitli adımlar içerir ve görüntünün kalitesini artırmayı amaçlar. Görüntünün keskinleştirilmesi, gürültünün azaltılması, kontrastın artırılması gibi işlemler düşük seviyeli işlemlere örnek olarak verilebilir.

Orta seviyede yer alan işlemler, görüntüde bulunan özelliklerin veya bölgelerin çıkarılmasıdır. Bu noktada, dokular, kemikler ve tümörler gibi belirli yapıların tanımlanması gibi daha karmaşık işlemler yer alır.

Yüksek seviyeli işlemler, daha yüksek oranda bilgi elde edilmesini içermektedir. Genellikle makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi yapay zeka teknikleri olan algoritmalar kullanılarak gerçekleşir. Literatür göz önüne alındığında (Zhang, 2017; C. Russ ve Russ, 2008; Dougherty, 2009) görüntü işleme aşağıda yazılı başlıklardan oluşmaktadır:

- Görüntü elde etme
- Görüntü filtreleme
- Görüntü restorasyonu
- Görüntü dönüşümleri
- Morfolojik İşlemler

DICOM (tıpta dijital görüntüleme ve iletişim) formatı

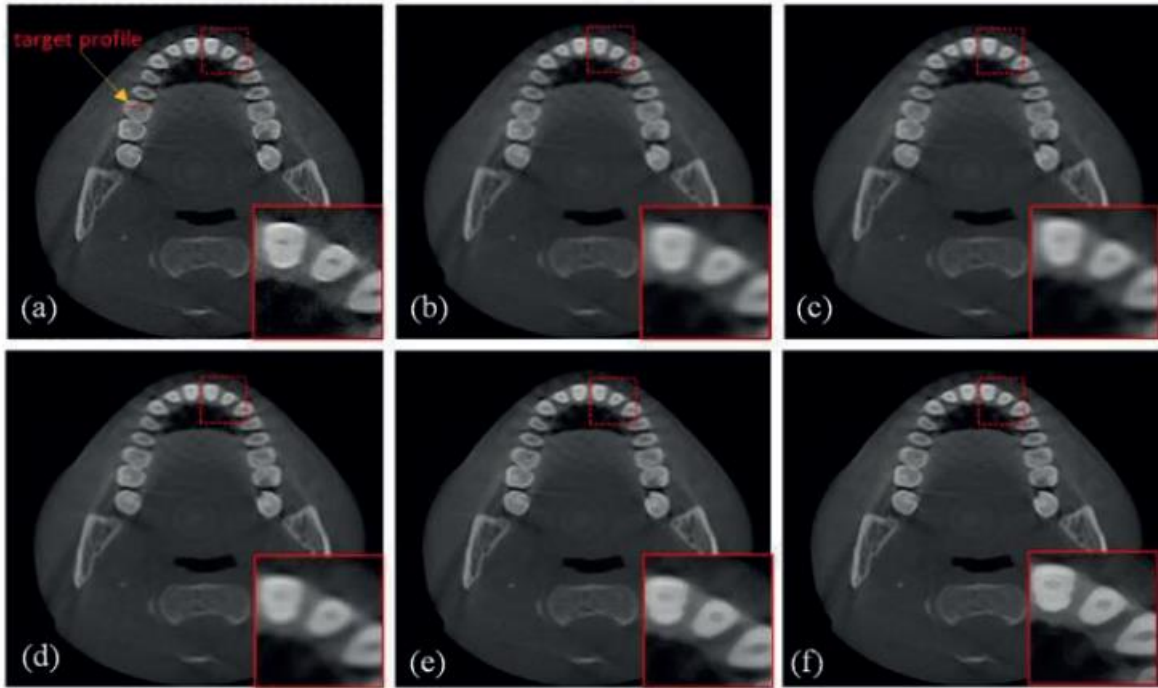
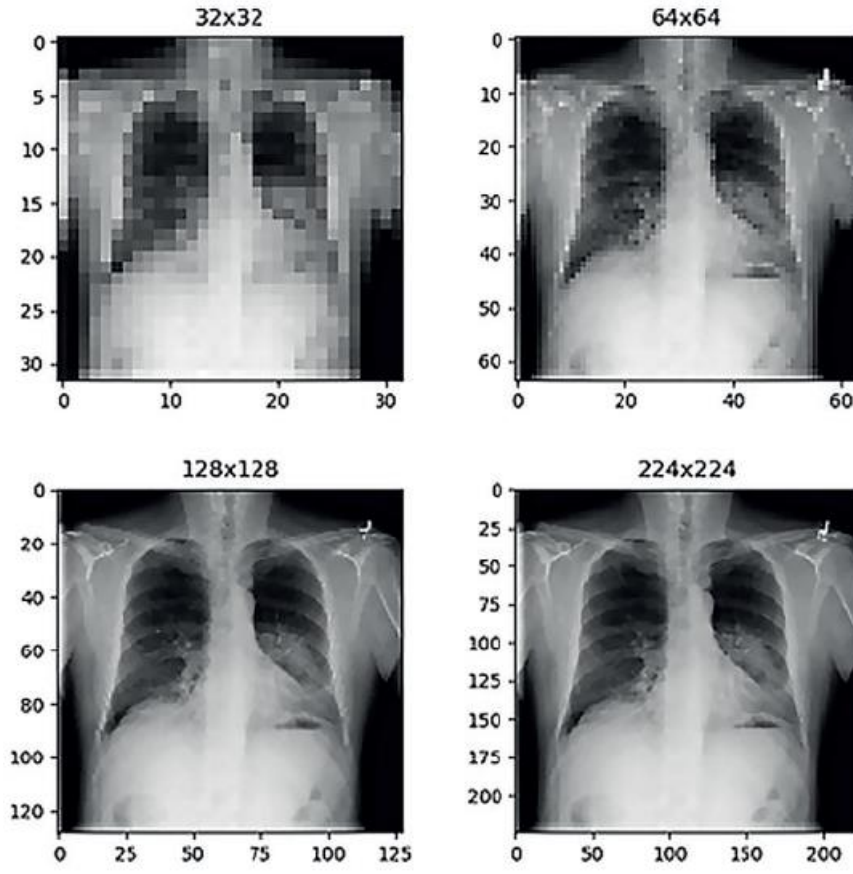
Görüntü Filtreleme

Tıbbi tanı ve tedavide görüntünün kalitesi hayati bir rol oynamaktadır. Ancak, alınan görüntünün kalitesi, cihaz ve hastanın özellikleri gibi bir dizi faktöre bağlı olduğu için değişiklik gösterebilir. Görüntüleme cihazının enerji seviyesi ve yoğunluğu da görüntünün kalitesini belirleyen önemli faktörler arasında yer alır. Doku gibi incelenen bir anatomik yapıdan elde edilen görüntünün kalitesi; çözünürlük, kontrast, kenar keskinliği, artefaktlar ve gürültü bileşenleri ile değerlendirilir. Görüntünün kalitesinin düşük olması, bu değerlendirme sürecinde, doğru tanı konulmasını ve istenen özelliklerin belirlenmesini zorlaştırabilir. Tam bu noktada, görüntü kalitesini geliştirmek için kullanılan görüntü ve sinyal işleme teknikleri önemli bir role sahiptir.

Bu yöntemler, görüntüyü bozan etkenleri düzeltir, kaliteyi optimize eder ve tanısal doğruluğu artırmayı sağlar (Bulakbaşı, 2020; Ulzheimer ve Raupach, 2014). Görüntü iyileştirme teknikleri, kullanılan görüntüleme teknolojisi için değişebilir. Örneğin bir iyileştirme tekniği ultrason veya BT elde edilen görüntü üzerinde işe yararken, MR görüntülerinde aynı doğruluk oranını vermeyebilir. Bu sebeple, hangi tekniklerin hangi görüntüleme teknolojileri için verimli olduğunu tespit etmek önemlidir. Çözünürlük artırma, kontrast düzeltme ve filtre kullanımı, tıbbi görüntüleme alanında sıkça kullanılan teknikler arasında yer almaktadır. Örneğin, bir beyindeki bir doku görüntünün detaylarını daha net bir şekilde görebilmek için çözünürlük artırılabilir, bu sayede tanısal doğruluk da artabilir. Yine beyindeki farklı dokular arasındaki kontrastı artırarak, belirli yapıların daha kolay ayırt edilmesini sağlanabilir; dokudaki görüntü kalitesini artırmak için filtre kullanılabilir ve bu şekilde görüntüdeki gürültü azaltılabilir (Bulakbaşı, 2020; Ulzheimer ve Raupach, 2014).

Çözünürlük (Resolution) Arttırma

Görüntünün çözünürlüğü, görüntü detaylarının keskinliği ve netliği üzerinde önemlidir. Çözünürlük kavramı, bir görüntünün içerdiği nokta sayısını ve en küçük yapıları ayırt edebilme yeteneğini ifade eder. Dijital cihazlar başta olmak üzere çözünürlük, kullanılan cihazın teknik yetenekleriyle direkt olarak ilişkilidir. Ürünlerinin çözünürlük değerleri, üretici firmalar tarafından belirtilir ve bu değerler, cihazın kalitesi, işlevi ve performansı hakkında önemli bir öneme sahiptir. Günümüzde görüntü çözünürlüğünü artırmak için çeşitli teknikler ve yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile daha keskin görüntüler elde edilir ve çözünürlüğün artması sağlanır. Örneğin süper çözünürlük, görüntü kalitesini artırmak için kullanılan özel algoritmalarından biridir. Görüntü kalitesi, eksik piksellerin hesaplanması için mevcut piksel bilgileri kullanılarak artırılabilir (Jiang vd. 2018; Liu vd. 2019; Luong, 2009).



Şekil 5. Bilgisayarlı tomografi ile çekilmiş diş görüntülerinin seyrek gösterim ile çözünürlüğünün artırması çalışması (Jiang vd. 2018)

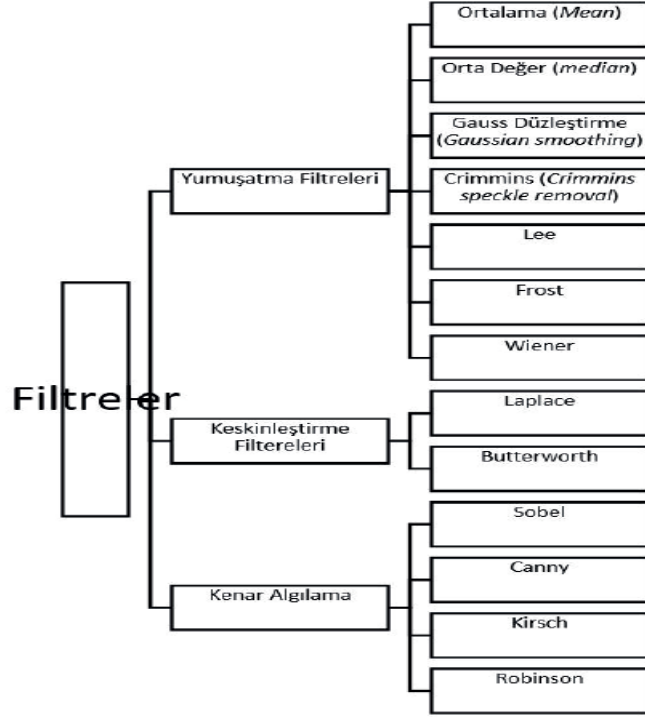
Kontrast Düzeltme

Kontrast, tıbbi görüntülerdeki yapılar ile arka plan veya zemin arasındaki gri ton farkı olarak tanımlanır. Farklı dokuların farklı parlaklık düzeylerine sahip olması, tanı sürecinde hayati öneme sahiptir. Doku görüntüsündeki farklılığın net bir şekilde anlaşılması hastalıkların teşhis ve tedavisini daha doğru bir hale getirir. Bu sebeple görüntünün elde edildiği cihaz da oldukça önemlidir. Bu noktada uzman hekimler, genellikle hastanın ihtiyaç ve durumuna bağlı olarak en uygun görüntüleme yöntemini seçerler. Örneğin kemik dokusu detaylı bir şekilde incelenmek için geleneksel bilgisayarlı tomografi (BT) kullanılırken; daha yüksek çözünürlük gerektiren durumlar için radyografi tercih edilebilir. Her iki durumda da kullanılabilen kontrastın yeterli olmaması durumunda ise kontrast iyileştirmesi yapılabilir. Görüntülerin netliğini artırmak, dokular arasındaki farkı daha anlaşılır kılmak ve tanısal doğruluğu artırmak için önemlidir (Zhang, 2017; Tuncel, 2014).

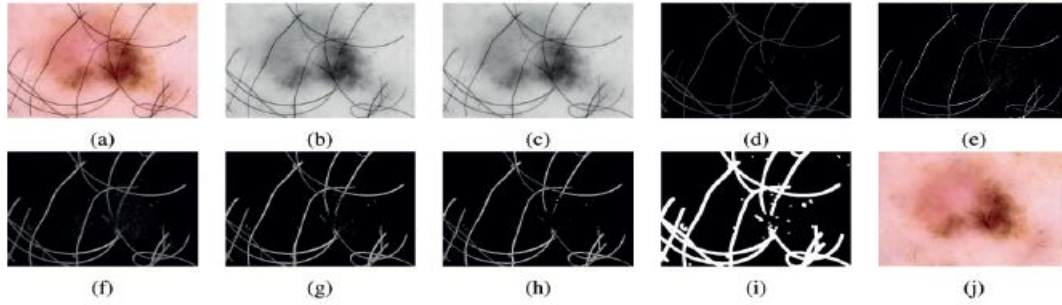
Filtreleme

Görüntü işleme sürecinde, resimdeki yüksek frekansları azaltmak veya düşük frekansları vurgulamak için genellikle filtreler kullanılır. Filtreler sayesinde düzgünleştirme veya kenar belirginleştirme işlemleri gerçekleştirilir.

Tıbbi görüntülerde çekim esnasında oluşmuş olan gölgeler, belirgin olmayan kenarlar ve gürültü giderimi için filtreler kullanılmaktadır (Yasutomi vd., 2019; Bhardodiya & Gonsai, 2019; Jaybhay & Shastri, 2015). Görüntü işlemede filtreler özellikle görüntüler üzerinde bulunan gürültülerin giderimi için yumuşatma filtreleri, kenarları belirginleştirmek ve bulmak için keskinleştirme filtreleri kullanılmaktadır. Görüntü işlemede filtre işlemi bir $I(x,y)$ girdi görüntü fonksiyonu üzerinde amacına uygun bir $h(x,y)$ filtresi (maske) ile konvolüsyon yapılması sureti ile yapılır. Bu işlemin sonucunda $I^*(x,y)$ filtrelenmiş görüntü elde edilir (Jeong vd., 2011). Konvolüsyon işlemi; bir maskenin Şekil 6'da gösterildiği gibi görüntü üzerindeki bulunan komşu pikseller üzerinde kaydırma ve çarpma işleminin sonucu olarak tanımlanabilir.



Şekil 8. Görüntü işleme için yaygın kullanılan filtre çeşitleri



Şekil 7. (a) Orijinal görüntü, (b) gri renk Ölçeğine çevrilmiş Görüntü (c) Gauss düzleştirme. (d) Canny filtresi. (e) Sobel Filtresi. (f) SOBEL ve CANNY farkı. (g) parlaklık ayarlaması. (h) Görüntü eşiklemesi (i) görüntü genişletme (Maske). (j) görüntü restorasyonu (Hasan vd. 2019)

Morfolojik İşlemler

Morfoloji, görüntülerin şekilsel özelliklerini analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir ve temeli kümeler teorisine dayanmaktadır. Özellikle medikal görüntüleme, yüzey tanıma ve endüstriyel kalite kontrol gibi alanlarda sıkça kullanılır. Morfolojik operasyonlar, genellikle aşındırma ve genişletme yöntemlerini içerir. Belirli bir yapısal elemana bağlı olarak nesnelerin boyutunu küçülten işlem aşındırma olarak adlandırılırken; nesnenin alanını artırma işlemi genişletmedir. Bu işlemler görüntüdeki detayları iyileştirmek, nesneleri tanımlamak ve arka planı temizlemek gibi birçok uygulama için önemlidir. Yine bu teknikler güçlü araçlar sunarak görüntülerin şekil ve yapısal özelliklerini belirlemede temel bir rol oynar ve bu nedenle bilgisayarlı görü analizinde önemli bir rolü vardır (Dougherty, 2009).

Görüntü Restorasyonu (Onarımı)

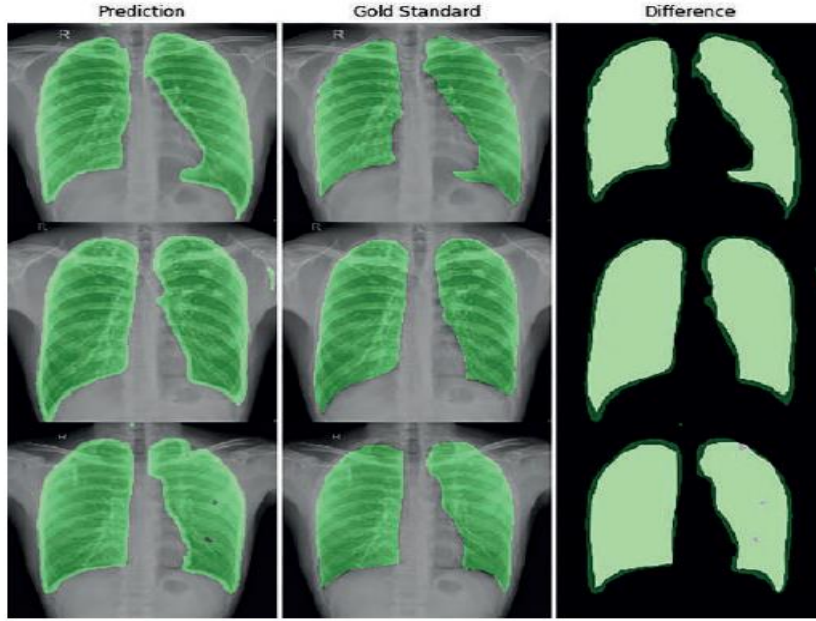
Görüntü restorasyonu, bir görüntünün oluşumu esnasında oluşmuş olan veri kaybını veya bozulmaları mümkün olduğu mertebede azaltmak, yok etmek ya da düzeltmek olarak tanımlanabilir. Görüntü restorasyonunu sağlamak için bozulma hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Bilgi sağlamak için Mekansal (uzamsal) Alan (domain) Teknikleri ve Frekans Alanı Teknikleri kullanılmaktadır. Onarım teknikleri olarak Dalgacık tabanlı, Fuzzy tabanlı ve iç boyama yöntemleri kullanılmaktadır.

Segmentasyon (Görüntü Bölütleme)

Görüntü segmentasyonu, görüntü analizi alanında karmaşık bir süreç olmasıyla beraber, görüntülerdeki yapıları tanımlamak için önemli bir işlevdir. Segmentasyon genel hatlarıyla, görüntüyü anlamlı ve tutarlı bölgelere ayırma işlemidir ve görüntülerdeki anatomik yapıları veya diğer özellikleri daha iyi analiz etmek için kullanılır. Medikal görüntüdeki dokuların veya lezyonların doğru bir şekilde tanımlanması ve sınıflandırılması gereklidir, bu nedenle segmentasyon tıbbi teşhis ve tedavi sürecinde büyük öneme sahiptir (Ronneberger vd., 2015; Dougherty, 2009)

Segmentasyon işlemi ile benzer parlaklık ve dokusal özelliklere sahip pikseller bir araya getirilerek benzer yapıları temsil eden bölgeler oluşturulur. Bu sayede, görüntüdeki değişik bölgelerin daha iyi analiz edilmesi ve anlaşılması sağlanır. Görüntüleme teknikleriyle elde edilen her bir görüntü farklı özelliklere ve gereksinimlere sahiptir ve bu nedenle segmentasyon için tek bir evrensel yaklaşım bulunmamaktadır, farklı bölütleme teknikleri ve algoritmaları kullanılır (Ronneberger vd., 2015; Dougherty, 2009).

Son yıllarda özellikle de evrişimsel sinir ağları (CNN) gibi derin öğrenme yöntemleri sayesinde görüntü segmentasyonu alanında büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Tıbbi görüntülerde yapısal analiz ve segmentasyon için yaygın bir şekilde kullanılan U-Net gibi evrişimli sinir ağları bunlardan biridir. Tanısal doğruluk ve tedavi planlaması gibi kritik süreçlerde, tıbbi görüntüleme alanındaki bu gelişmeler büyük bir etkiye sahiptir. Yine makine öğrenimi algoritmaları sayesinde bilgisayar destekli teşhis (CAD) sistemleri geliştirilmiş ve doktorların daha doğru ve hızlı teşhis yapmalarına imkan sağlanmıştır. Bu yüzden, segmentasyon teknikleri ve algoritmalarının sürekli olarak geliştirilmesi ve iyileştirilmesi tıbbi görüntüleme alanında öneminikorumaya devam etmektedir (Ronneberger vd., 2015; Dougherty, 2009).



Şekil 4. U-Net modeli kullanarak yapılan akciğer bölgesi tahminleri (Patel and Vidyarthi, 2021)

