

GÖRÜNTÜ İŞLEMENİN DÜNÜ, BUGÜNÜ ve GELECEĞİ

Nerhun Yıldız-Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Giriş

Günümüzde görüntü işleme, özellikle dijital teknolojilerin hızlı gelişimi ile hayatımızın daha çok alanında kendini göstermeye başladı. Örnek olarak cep telefonlarını ele aldığımızda, ses ve kısa mesaj dışında özelliği olmayan cep telefonlarının son 10 yılda yerini kompakt fotoğraf makinesi ile tümleştirilmiş işletim sistemli minik bilgisayarlara bıraktığını görmekteyiz.

On yıl önce Türkiye'deki bir Ar-Ge mühendisi için görüntü işleme, hobi olarak Photoshop programı ile birkaç iyileştirme yapmak dışında pek bir anlam ifade etmezdi. İstisnalar, zamanın

dijital fotoğraf makineleri ve dijital video oynatıcıları gibi sistemlere yönelik Very Large Scale Integrated Circuit (VLSI) devre tasarlayan elektronik mühendisleri, Photoshop benzeri programlar ile video kodlayıcı-kod çözücülerini tasarlayan bilgisayar mühendisleri ve uzmanlığı görüntü işleme olan akademisyenlerdi. Günümüzde ise yüksek hızlı Digital Signal Processor (DSP) ve Field Programmable Gate Array (FPGA) teknolojileri sayesinde gerçek zamanlı görüntü işleyen sistemlerin Ar-Ge çalışmaları yaygınlaşmaktadır. Her ne kadar uç teknolojiler henüz nispeten pahalı olsa da, Türkiye'de tasarlanan üst sınıf elektronik sistemlerde ilgili teknolojilerin kullanımına başlanmıştır.

Resim, Fotoğraf, Görsel, İmaj ve Görüntü Kavramları

Ne yazık ki sıkça düşüğümüz bir hata fotoğraf makinemizi veya cep telefonumuzu karşımızdaki kişiye vererek "Resmimi/Resmimizi çekebilir misin?" benzeri bir cümle kurmaktır. Ve yine ne yazık ki en popüler işletim sistemlerinde dokümanların altındaki pictures klasörü görseller yerine resimler olarak tercüme edilmiştir. Oysa görüntü ile ilgili kelimelerin Türk Dil Kurumu (TDK) sözlük karşılıkları şu şekildedir:

Resim: Varlıkların, doğadaki görünüşlerinin kalem, fırça gibi araçlarla kâğıt, bez vb. üzerinde yapılan biçimleri.

Fotoğraf: Çeşitli araç ve malzeme kullanarak görüntüyü özel bir yüzey üzerinde sabitleme.

Görsel: Görme duyusuyla ilgili olan, görmeye dayanan.

İmaj: Duyu organlarının dıştan algıladığı bir nesnenin bilince yansıyan benzeri.

Görüntü: Herhangi bir nesnenin mercek, ayna vb. araçlarla oluşturulan biçimi, hayal.

Yani resim insan algısından, fotoğraf ise optik bir düzeneden geçirilerek saklama ortamına aktarılan görsellerdir. İmaj ise her ne kadar İngilizce imaj kelimesinin karşılığı olarak geçse de, görüntü kelimesinin fizikteki anlamı ile benzerdir. Her iki kelime de fiziksel bir nesnenin farklı bir ortamda veya insan beyinde modellenmesi ile ilgilidir.



Sözlük anlamı açısından “imaj işleme” her ne kadar “görselin işlenmesi ile ilgili olan kavramlar topluluğu” anlamında kullanılabilir bir tamlama olsa da, “görüntü işleme” kalıbı literatürde daha çok kabul görmüştür.

Görüntülemenin Tarihçesi

Yaklaşık yediyüz milyon yıl önce yaşamış ilkel canlılarda göz benzeri organların evrimi ile görüntüleme başlamıştır. Bu ilkel organlar görüş alanındaki üç boyutlu objelerden yansıyan ışığı iki boyutlu ilkel göz yüzeyinin üzerine iz düşürerek görüş alanının basitleştirilmiş bir modelini oluşturmaya yaramıştır.

Her ne kadar göz organına sahip her canlı çevresindeki ortamı benzer şekilde algılasa da, insanlarda dilin de gelişmesi ile görüntüleme çerçevesi farklılaşarak sözlü tarih kavramının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Sözlü tarih aynı zamanda ilk görüntü sıkıştırma tekniği olarak karşımıza çıkar. “... kurt sürüsü karanlık gecede ormanda ilerleyen üç gencin üzerine saldırdı...” şeklindeki bir cümle yalnızca 72 karakterden oluşur ve karmaşık bir metin sıkıştırması yapılmadan 360 bit veya 45 baytla ifade edilebilir. Cümlede geçen kelimelerin hafızamızdaki karşılıkları beynimiz tarafından sentezlendiğinde, tasvir edilen uzayın hayalimizdeki bir modeli oluşur.

Kalıcılık değeri yüksek olan ilk görüntüleme mağara resimleri ile başlamıştır. Tarih boyunca ilerleyen resim teknikleri günümüze kadar gelişmeye devam etse de, mağara duvarlarından orta çağ ressamlarının tuvallerine, modern duvar resimlerinden gelişmiş dijital animasyonlara kadar sayısız teknikte değişmeyen tek unsur uzayın insan gözü ve beyni ile yorumlanması olmuştur.

Fotoğraf makinesinin icadı ile insan yorumu; ışık, odak ve açılı ayarları ile sınırlandırılmıştır. Fotoğraf makinesinin atası, karanlık kutu (camera obscura)

adı verilen ve yüzeylerinden birinde iğne deliği bulunan bir kutudur. Bu delikten süzülen ışık kutunun karşı yüzeyinde ters bir görüntü oluşturur. İlk kez kim tarafından tasarlandığı tam olarak bilinmese de, M.Ö. 4. yüzyılda Çinli filozof Mo Di'nin yazılarında ilgili tasarımdan toplama tabağı veya kilitli hazine odası olarak bahsedilmiştir. Aristo da yine aynı dönemlerde güneş tutulmasının yaprakların arasından süzülmesini tasvir eder. Değişik filozoflar tarafından ele alınan karanlık kutunun ilk kez 10. ve 13. yüzyıllar arasında gerçekleştirildiği tahmin edilse de kim tarafından yapıldığı spekülasyon konusudur.

Fotoğraf makinesi, karanlık kutunun görüntü oluşturan yüzeyine ışığa tepki veren bir kimyasal kaplanması ile tasarlanmıştır. Günümüze kadar dayanacak kalitede fotoğraf çekebilen ilk fotoğraf makinesi Joseph Nicéphore Niépce tarafından 1825 yılında yapılmıştır. İlk deneysel renkli fotoğraf ise James Clerk Maxwell tarafından 1861'de çekilmiştir. Dijital olarak ışık algılama fikri 1961 yılında bir uzay araştırma konferansında önerilmiş, önerilen mantıktaki bir ışık algılama paneli 1968'de üretilmiştir. İlk dijital fotoğraf makinesi ise 1975 yılında Steven Sasson adındaki bir mühendis tarafından Kodak bünyesinde tasarlanmıştır. Ağırlığı 3.6 kg olan ve 23 saniyede 0.01 megapiksel çözünürlüğünde renksiz fotoğraf çekebilen bu kamerada uzay araştırmaları için 1973 yılında üretilmiş bir Charge Coupled Device (CCD) algılayıcı kullanılmıştır.

Hareketli görüntü veya diğer adıyla video, temel olarak hızlı bir şekilde çekilen ve çerçeve (frame) adı verilen fotoğrafların ardı ardına dizilmesi ile elde edilir. İlk hareketli görüntü kaydı 1880'lerin sonunda yapılmıştır. Hareketli bir görüntünün insanlar tarafından kesintisizmiş gibi algılanabilmesi için saniyede 20 kareden fazla çerçeve gerekse de pratik olarak daha az sayıda çerçeve içeren video sistemleri de mevcuttur. Çerçeve sayısındaki belirsizlik nedeniyle ilk başarılı video

kameranin hangisi olduğu tartışma konusudur. Aynı belirsizlik video kameraların dijitalleşmesinin tarihçesini de etkilemiştir. Ayrıca 1990'lı yılların sonlarında dahi dijital kameraların sinema filmi çekimlerinde yetersiz bulunduğu bilinmektedir.

Günümüzde geliştirilmekte olan en son teknoloji üç boyutlu görüntülemedir. Temel olarak sağ ve sol gözün hizasına yerleştirilmiş iki ayrı kamera tarafından aynı anda çekilen iki görüntü, sağ ve sol göze ayrı filtrelerle yansıtılarak bir göz yanılgısı yaratılır. 1950'lerde deneysel çekimleri yapılan üç boyutlu filmler; teçhizat ve montaj masrafları, kırmızı/yeşil/mavi camlı gözlüklerdeki renk derinliği kaybı, vb. nedenlerle popüler olamamıştır. Teknolojinin ilerlemesiyle masraflar azalmış ve renk kaybı olmayan sistemler ortaya çıkmıştır. Günümüzde polarize, dijital perdeleme vb. teknolojiler kullanan gözlüklü üç boyutlu görüntüleme sisteminin yanı sıra dar açıdan gözlüksüz izlenebilen üç boyutlu ekranların da üretimine başlanmıştır.

Analog ve Dijital Görüntü Kavramları

Saydam olmayan cisimlerden yansıyan ışık iki boyutlu bir yüzeye düşürüldüğünde uzay boyutunda sürekli (analog), iki boyutlu bir izdüşümü yaratır. Film şeridi kullanan analog fotoğraf makinelerinde bu izdüşüm kimyasal olarak negatif üzerine işlenir. Kimyasalın aşınma miktarı parlaklık seviyesini belirler. Mikroskobik olarak ayrık olan bu görüntü makro boyutta insan gözünden daha yüksek bir çözünürlük sunar ve dolayısıyla sürekli olarak algılanır.

Gri seviyeli analog bir görüntünün dijitale dönüştürülmesindeki ilk adım iki boyutlu uzayın örneklenerek görüntünün ayrıklaştırılmasıdır. Bunun için sürekli olan görüntü küçük kare şeklindeki dilimlere bölünür ve her bir bölüme piksel adı verilir. Pikselin değeri, analog görüntünün piksel alanının içinde kalan ortalama parlaklık

seviyesidir. Dijitalleştirmedeki ikinci adım, kuantalama adı verilen, ortalama parlaklık seviyesinin ölçeklenmesi ve en yakın tamsayıya yuvarlanması işlemidir. İnsan gözüne hitap eden hemen her uygulamada 256 gri seviyesi (8-bit) yeterlidir. 0 siyah, 255 beyaz, ara değerler ise değişik gri seviyelerini simgeler. Ortalama parlaklık seviyeleri buna göre 0-255 aralığına ölçeklenir ve sonuçta elde edilen reel sayıların kendilerine en yakın tamsayıya yuvarlanması ile dijital görüntü elde edilir.

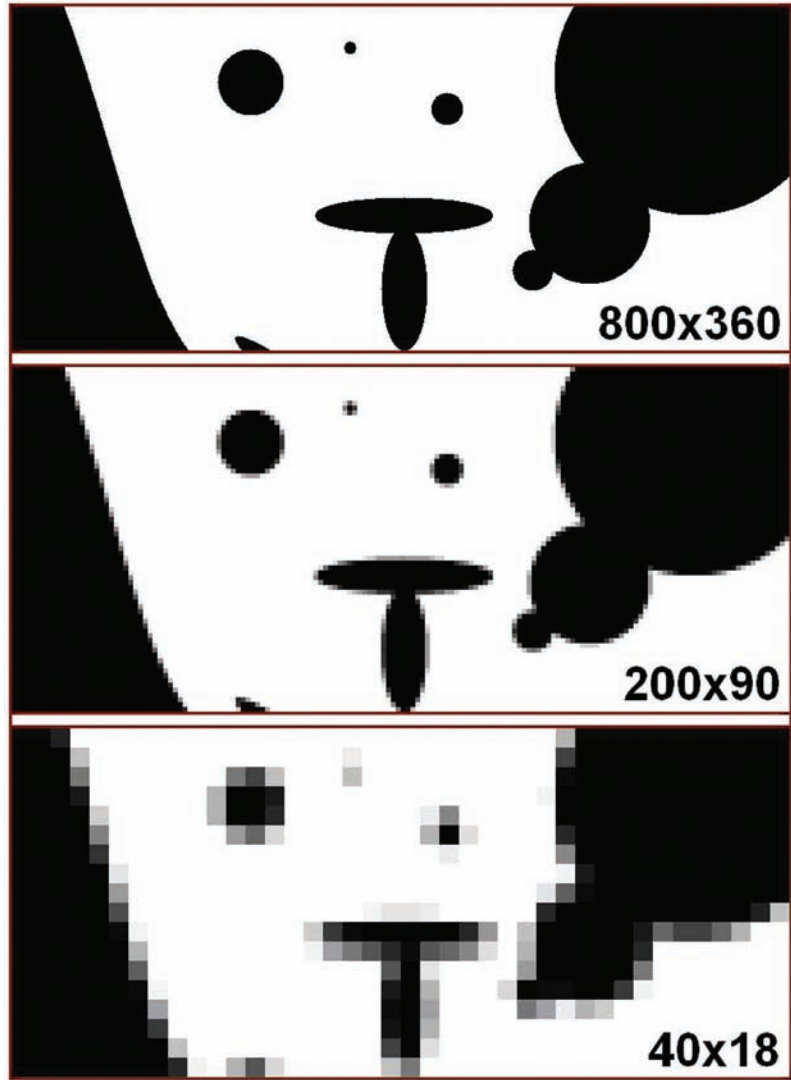
Renkli görüntü için de durum çok farklı değildir. Son teknolojiye en çok kullanılan ve anlaşılması en kolay kodlama yöntemi RGB'dir (Red-Green-Blue). Renkli resmin piksel alanının içinde kalan kırmızı, yeşil ve mavi temel renk tonları ayrı renk kanallarına bölünür ve her renk için ayrı birer parlaklık seviyesi hesaplanır. Yani RGB ile kodlanmış ve sıkıştırılmamış renkli bir resim aynı boydaki üç gri resim kadar yer kaplar. RGB dışında, eski televizyonlarda kullanılan ve analog devreler için tercih edilen parlaklık + bir renk kanalının farkı + başka bir renk kanalının farkı şeklinde üç kanaldan oluşan YUV, YCbCr ve bunların türevleri olan renk kodlama yöntemleri de mevcuttur.

Görüntüyü oluşturan piksellerin büyüklüğü ile görüntünün toplam büyüklüğü çözünürlüğünü belirler. Çözünürlük yoğunlukla bir görüntünün yatay ve düşeydeki toplam piksel sayısı ile ifade edilir. Örneğin 640x480 çözünürlüğündeki bir görüntüde yatayda 640, düşeyde ise 480 piksel vardır. Ancak bundan daha önemli bir kavram örnekleme frekansı veya örnekleme periyodudur. Tarayıcı ve yazıcılarda birim alana sığan piksel sayısı veya piksel yoğunluğu olarak tanımlanan DPI (Dot Per Inch, bir inç uzunluğundaki bir kesite sığan piksel sayısı) birimi kullanılır. Bu kavramın önemini anlatmak için 640x480 boyundaki bir görüntüyü ele alalım. Bu görüntünün çözünürlüğünde ve 3.2 cm'ye 2.4 cm boyundaki bir cep telefonu ekranında her piksel 0.05 mm x

0.05 mm boyunda bir alan kaplar ve analog gibi görünür. Aynı çözünürlükte 64 cm'ye 48 cm boyundaki bir dijital çıktı ise 1 mm'ye 1 mm'lik pikselleri ile insan gözüne kalitesiz ve bozuk bir çıktı olarak hitap eder. Verilen örneklerde piksel yoğunluklarının sırasıyla 508 (1 inç / 0.05 mm = 25.4 mm / 0.05 mm = 508 DPI) ve 25.4 dpi olduğu görülür. Bu nedenle taranan veya basılan belgelerde yazıların 300, resimlerin ise 600 dpi çözünürlüğe sahip olması tercih edilir. Yüksek kaliteli matbaa baskısının çözünürlüğü 2000-3000 DPI mertebesindedir. Aşağıda örnek olarak aynı alanı kaplayan üç farklı görüntü verilmiştir.

Dijital fotoğraf makinesi üreticileri çözünürlüğü fotoğraf makinesinin algılayıcısı üzerindeki toplam piksel sayısı olarak vermeyi tercih eder. Düşük özellikli 640x480 çözünürlüğünde kameraya sahip bir cep telefonunun algılayıcısı 0.3 megapiksel (640x480 = 307200), ileri nesil 4000x3000 çözünürlüklü bir fotoğraf makinesinin algılayıcısı ise 12 megapiksel içerir.

Yerini zamanla dijital uydu yayınına bırakmakta olan eski tip analog kara yayını 576 satırdan oluşur. Düşeyde dijital olan yayın yatayda analog olsa da televizyon ekranında 600 civarında piksel ile yatay eksen örneklenir. Pikselleri kare olmak zorunda olmayan



görüntünün en-boy oranı 5:4 veya 4:3'tür. Yayında bant genişliğini yarıya indirmek için tek ve çift satırların gruplanarak ayrı çerçevelerde gönderildiği interlaced yayın tercih edilir. Saniyede gönderilen çerçeve sayısı $25+25 = 50$ veya $30+30 = 60$ olabilir. Tek ve çift çerçeveleri algılayan televizyon tek ve çift satırları uygun zamanlarda sürer. İşlem yeterince hızlı olduğundan gözümüz satırların farklı zamanlara ait olduğunu algılamaz. Bilgisayar monitörlerinde durum farklı olup, sinyal ekran kartından sıralı olarak alınır. Ayrıca panel teknolojisindeki fark nedeniyle saniyede 60 kare tüplü monitörlerde titremeye neden olur ve göz sağlığı için en az 70 çerçeve tercih

edilmelidir. Çoğu LCD (Liquid Crystal Display) monitörde ise çerçeve sayısının 50 olması yeterlidir.

Dijital yayında da bant genişliğini azaltmak amacıyla görüntünün tek ve çift satırları genellikle ayrı çerçevelerde gönderilir. Eski tip dijital yayınların çözünürlüğü analog yayınlarınkı ile aynıdır. Yeni yüksek çözünürlüklü (HD-High Definition) standardının en-boy oranı 16:9'dur (geniş ekran) ve sadece televizyonlar değil, tüm video sistemleri için geliştirilmiştir. Televizyon üreticilerinin ve uydu sağlayıcılarının sıkça kullandığı kafa karıştırıcı terimlerden bazıları HD ready, HD ready 1080p, Full HD, 1080p, 1080i, 720p

ve 720i terimleridir. Ayrıca İnternet'ten izlenen videoların da altında 480p, 360p gibi izleme seçenekleri mevcuttur. Bu terimlerde sona gelen 'i' ve 'p' sırasıyla interlaced ve progressive (sıralı) yayınları simgeler. 1080, 720, 480, 360, vb. sayısal kısımlar satır sayıdır. Görüntü 16:9 olduğundan bu değerlere karşı gelen yatay çözünürlükler doğru orantıyla sırasıyla 1920, 1280, 850, 360, vs. olarak hesaplanabilir. HD ready logosu, bir televizyonun panelinin 1080 satırı desteklemediğini, minimum 720 satıra sahip olması gerektiğini, ancak 1080i yayını alması durumunda standartlar çerçevesinde ölçeklendirme yaparak görüntüyü ekrana aktarabildiğini gösterir. HD ready 1080p logosu taşıyan televizyonlar günümüzde mevcut en yoğun bant genişliğine sahip 1080p yayınların ve HD ready televizyonların desteklemediği diğer bazı özelliklerin desteklendiğini, panel çözünürlüğünün ise minimum 1920x1080 olduğunu belirtir. Full HD özelliği olan bir ürün de minimum 1920x1080 çözünürlüğe sahip olsa da, HD ready 1080p'nin desteklediği her yayını desteklenmek zorunda değildir.

Görüntü İşlemenin Kullanım Alanları

Görüntü işleme bu kadar popüler olmuşken "Neden görüntü işleme?" sorusu sorulabilir. Bu sorunun en güzel cevabı görüntü işlemeden dijital bir fotoğrafın çekilmesinin bile mümkün olmamasıdır. En kalitesiz fotoğraf makinesi dahi çekim düğmesine basıldığında hızla ortamdaki ışığı ölçer, ölçülen ışığa göre ISO (International Organization for Standardization standardı) ayarını yapar, görüntüyü alır, alınan görüntüye basit bir gürültü süzgeci uygular, görüntüyü sıkıştırır ve belleğe kaydeder. Görüntü işlemenin kullanım alanları aşağıdaki maddelerle özetlenebilir:

- **Görüntü iyileştirme:** Görüntü her zaman istenilen kalitede olmayabilir ve iyileştirilmesi gerekir.



Kalite bozukluğuna yol açan etkenlerin bazıları Şu Şekilde sıralanabilir: Karlı görüntü, aŐırı keskinlik, bulanıklılık, aŐırı parlaklık, aÇılı karanlık, solukluk ve renk kaymaları.

• **Görüntü sıkıştırma:** Gelişmiş bir fotoğraf makinesi ile 12 megapiksel çözünürlüğünde çekilmiŐ bir görüntü, her temel renk 8-bit ile kodlandığında ham olarak 288 MB ($3 \times 8 \times 12 \times 10^6$) yer kaplar. AŞağıdaki tabloda değişik sıkıştırma algoritmaları için dosya boyutu örnekleri verilmiştir.

• **Biyometrik tanıma:** 1990'ların sinema filmlerinde olağanüstü teknoloji olarak kabul edilen parmak izi tanıma sistemleri artık dizüstü bilgisayarlarda standartlaŐmıŐ bir özellik olmaya başladı. Retina, yüz, parmak damarı ve el tanıma sistemleri diğer bazı biyometrik tanıma sistemleridir. Biyometrik tanıma için uygulanan aŐamalar Şu Şekilde sıralanabilir: Taranan görüntünün iyileştirilmesi, otomatik ortalama ve döndürme iŐlemleri, gereksiz bilgilerin ayıklanarak görüntünün özelliklerinin çıkartılması (feature extraction), sonuçta kalan özelliklerden bir imza elde edilmesi ve veri tabanı ile elde edilen imzanın karŐılaŐtırılması. Veri tabanında arama iŐlemi hariç diğer tüm aŐamalar görüntü işleme konularıdır.

• **Otomatik yüz, araç, vb. obje tanıma ve takip etme:** Birçok durumda kameraların ilgilenilen objeyi otomatik olarak algılayıp uygun tepkiyi vermesi istenir. Örneğin yurtdıŐında biroklke- de suular kameralar ile tespit edilerek tüm Őehrin sokak kamera görüntülerinin otomatik taranması ile yakalanmaktadır. Başka bir r-



nek olarak trafikteki araç sayısını sayıp, akıŐ hızlarını ölçerek hem trafik yoğunluğunu otomatik olarak yansıtan, hem de aŐırı hız ve kaza benzeri durumları algılayıp bildiren sistemler verilebilir. Günümüzde deneysel kullanımına baŐlanmış olan bir otomatik pilot sistemi acil durumlarda uçağı otomatik olarak indirmek üzere geliştirilmiştir. Bunlara benzer birçok sistem geliŐtirilerek makinelerin bizim için görmesi hedeflenmektedir.

Görüntü işleme Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Görüntü iŐlemek için kullanılan yöntemler farklı Őekillerde sınıflanabilir. işleme giren piksellere göre bir sınıflandırma yapıldığında üç farklı türde görüntü işleme yöntemi vardır:

- Her pikseli birbirinden bağımsız olarak işleme,

- Her pikseli komŐularını da hesaba katarak işleme,
- Hareketli görüntülerde ardıŐık erevesel aralarında görüntü işleme.

Her pikselin bağımsız olarak iŐlendiđi durumda piksel değeri bir katsayı ile çarpılır, bir eŐik ile toplanır veya kendisi ile başka bir işleme tabi tutulur. Ancak bu iŐlemler yapılırken diğer piksellerin değerleri dikkate alınmaz. rnek vermek gerekirse her piksel değerinin pozitif bir tamsayı ile toplanması durumunda görüntünün parlaklığı artar. Başka bir örnek görüntünün 0-255 aralığı yerine 0-50 aralığında değişen piksel değerlerine sahip olmasıdır. Bu durumda görüntü birbirine yakın koyu renk tonlarından oluşur ve dolayısıyla görüntünün karŐıtlığı (kontrast) düŐüktür. Her piksel değerleri 5 ile çarpılırsa görüntünün piksel değerleri 0-250 aralığına dađıtılmıŐ olur, dolayısıyla görüntünün karŐıtlığı artar. Bu tür iŐ-

Görüntü Türü	PNG (Kayıpsız)	JPEG (Kayıpsız)	JPEG (Kalite: 100)	JPEG (Kalite: 70)	JPEG (Kalite: 40)
Rastgele	34.4 MB	37.9 MB	22.6 MB	6.3 MB	3.9 MB
Manzara	18.5 MB	22.5 MB	8.8 MB	1.7 MB	1.1 MB
Kapalı Mekan	12.6 MB	18.0 MB	6.0 MB	1.0 MB	545 KB

lemlerde her ne kadar pikseller bağımsız olarak işlem görse de görüntünün tamamı için bir istatistik çıkartılması gerekebilir. Görüntünün piksel değerlerinin 0-50 aralığında olduğu bilgisi bu tür istatistiksel bir bilgidir.

Görüntü işlemede çoğu zaman komşu piksellerin de birbiri ile ilişkilendirilmesi istenir. Bunun için her bir piksel, belirli bir komşuluğunda bulunan pikseller ile ağırlıklı olarak toplanabilir. Ağırlık katsayılarının bulunduğu matrise maske (veya şablon, İngilizcede mask veya template) adı verilir. Maske veya şablon ismi, her bir pikselin çevresiyle aynı ilişkinin kurulmasının resmin üzerinde maske dolaştırma işlemine benzetilmesi ile ortaya atılmıştır. Aşağıda 4×4 boyunda örnek bir giriş görüntü parçası, 3×3 boyundaki maske ve maskenin görüntü üzerinde gezdirilmesi ile elde edilen çıkış verilmiştir.

$$\text{görüntü parçası} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 6 & 5 & 4 \\ 2 & 1 & 1 & 2 \\ 7 & 9 & 2 & 6 \end{bmatrix} \quad \text{maske} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix} \quad \text{çıkış} = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & 3 & 3.8 & \cdot \\ \cdot & 3.7 & 3.7 & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$$

Girişteki ve çıkıştaki görüntülerin ortasındaki dört değere bakılırsa girişteki komşuların 1-6, çıkıştakilerin ise 3-3.8 aralığında olduğu görülür. Bu sonucun gerçek bir görüntüdeki görsel karşılığı bulanıklaşmadır (blurring). Kenardaki piksellerin çıkış değerlerinin yazılmamasının nedeni sınırdaki belirsizliktir. Bu problemi çözmek için sınır pikselleri ya hesaplanamaz, ya da sınırın dışında sanal pikseller oluşturulur.

Üçüncü yöntem ise hareketli görüntülerde çerçeveler arasında ilişki kurmaya dayanır. Aslında buradaki amaç görüntünün zamanla değişimindeki bir özelliğini yakalamaktır. Bu yöntem

çoğunlukla h264 gibi modern görüntü sıkıştırma algoritmalarında kullanılır.

Görüntü işleme yöntemleri aynı zamanda lineer olma veya olmama durumuna göre de sınıflandırılabilir. 0-50 aralığında değerlere sahip bir görüntünün 0-250 aralığına genişletilmesi yalnızca bir çarpım içerdiğinden dolayı lineer bir işlemdir. Peki, 0-100 aralığında değişen bir görüntünün her piksel değeri 5 ile çarpılırsa ne olur? Çıkıştaki görüntünün piksel değerleri 0-255 aralığının dışında, 0-500 aralığında olacaktır. 255 değeri beyaz olduğuna ve beyazdan daha parlak bir piksel olamayacağına göre 255'ten büyük piksel değerlerinin 255'e sınırlandırılması gerekir, yani sistemde lineer olmayan doyuma durumu söz konusudur. Başka bir örnek olarak karlı görüntüyü temizleyen medyan filtre verilebilir. Her pikselin belirli bir çevresindeki pikseller alınır, sırayla dizilir ve ortada kalan değer pikselin yeni değeri olarak atanır. Karlı görüntüde bulunan istenmeyen siyah ve beyaz pikseller sırasıyla 0 ve 255 değerine sahip olduğu için dizilme sonucunda kenarlarda kalır, dolayısıyla ortada kalan değerlerin gerçek görüntüdeki değere yakın olma olasılığı artar.

Sonuç

Günümüzde görüntü işleme ile ilgili teknolojiler hızla gelişen ve dünya standartlarını önünde sürükleyen sistemlerin gelişmesini sağlamıştır. Gelecekte de hız kesecek gibi görünmeyen bu gelişimde mühendislerin, akademisyenlerin, destek kuruluşlarının ve şirket yöneticilerinin konuya önem verip tasarım, eğitim ve yatırım çalışmalarına hız vermeleri, gelişmiş ülkelerde söz sahibi olmamızı sağlayacak önemli bir adımdır. Yeterli eğitim ve yatırım ile 10 yıl öncesinin bilimkurgu teknolojisini gerçeğe dönüştürmek tahmin ettiğimizden çok daha yakın. ◀

