

Yeliz CANTÜRK

Yüksek Lisans, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, yeliz.canturk@hbv.edu.tr, Ankara - Türkiye
ORCID: 0000-0003-2821-2825

Armağan GÖKÇEARSLAN

Doçent, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, armagangokce778@gmail.com, Ankara - Türkiye
ORCID: 0000-0002-7206-7779

Yapay Zeka İle Animasyonun Buluşması: Hareketin Yeni Dönemi

Özet: Animasyonun gelişimi, hem sanatsal üslupta hem de teknolojik açıdan büyük değişimlere tanıklık etmiştir. Ancak tüm bu dönüşümler içinde, animasyonda hareketi yakalama isteği hep ön planda olmuştur. Hareket, animasyonun temel taşıdır ve bu doğal akışı en iyi şekilde yansıtmaya çabası, animasyonun tarihinde uzun bir yolculuğun başlangıcıdır.

İlk yıllarda Rotoskop makinesi gibi buluşlarla başlayan bu çaba, 1980'lerde bilgisayar teknolojisinin keşfiyle yeni bir boyut kazandı. Daha sonra, hareket yakalama sistemleri gibi teknikler geliştirildi ve günümüzde yapay zekanın etkisi animasyon dünyasında giderek hissedilmeye başlandı. Ancak teknolojiye dayalı bu dönüşümün beraberinde getirdiği zorluklar da göz ardı edilemez. Yapay zeka ile hareket yakalama, karmaşık algoritmalar ve büyük veri setleri gerektirmektedir, bu da animasyon dünyasındaki uzmanların yeni becerilere ihtiyaç duymasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojik ilerlemeler animasyon ve oyun sektörünü yeni ve heyecan verici fırsatlarla doldurmaktadır.

Bu makalede, özellikle yapay zeka ile hareket yakalama yöntemine odaklanılmış, bu yenilikçi yaklaşımın animasyon ve oyun sektöründe nasıl kullanıldığı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Animasyon, Oyun, Hareket Yakalama, Yapay Zeka

The Convergence of Artificial Intelligence and Animation: A New Era for Motion

Abstract: The development of animation has witnessed significant changes, both in terms of artistic style and technology. However, amidst all these transformations, the desire to capture motion in animation has always been paramount. Motion is the cornerstone of animation, and the effort to represent this natural flow in the best possible way marks the beginning of a long journey in the history of animation.

Beginning with inventions like the Rotoscope machine in its early years, this effort took on a new dimension with the discovery of computer technology in the 1980s. Subsequently, techniques like motion capture systems were developed, and the influence of artificial intelligence in the world of animation is increasingly being felt today. Nevertheless, it is crucial not to overlook the challenges brought about by this technology-driven transformation. Motion capture with artificial intelligence requires complex algorithms and extensive data sets, necessitating animation experts to acquire new skills. However, these technological advancements are filling the animation and gaming industries with new and exciting opportunities.

This article focuses particularly on the use of artificial intelligence in motion capture, examining how this innovative approach is being applied in the animation and gaming sectors.

Key Words: Animation, Game, Motion Capture, Artificial Intelligence

1. Giriş

Son yıllarda teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, artırılmış gerçeklikten sanal gerçekliğe, üç boyutlu yazıcılardan yapay zekaya kadar birçok alanda dikkat çekmektedir. Bu yeni teknolojiler, insan hayatını kolaylaştırırken aynı zamanda bazı meslekleri kökten değiştirmektedir. Animasyon, bu değişimin etkilediği mesleklerden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle yapay zeka alanındaki ilerlemeler, animasyonun hareket yakalama yöntemlerini değiştirmektedir.

Animasyon, saniyede 24 kare resmin ardışık olarak gösterilmesiyle oluşturulan bir sanat formudur. Renk, biçim, müzik ve kurgu, animasyonun temel öğeleri olmakla birlikte, hareket animasyonunun en kritik bileşenidir. Norman McLaren'in "Animasyon hareket eden çizimlerin sanatı değil, çizilen hareketlerin sanatıdır. Her kare arasında ne olduğu, her karede ne olduğundan daha önemlidir" sözü animasyonda hareketin önemini vurgulamaktadır (Solomon'dan aktaran Wells, 1998, 10).

Animasyonun ilk yılları, bu yeni sanat formunun keşfedildiği ve deneysel yaklaşımların yoğun olduğu bir dönemdi. Earl Hurd'un saydam tabakasını bulması ve Max Fleischer'in Rotoskop makinesini icat etmesi, animasyonun evriminde önemli kilometre taşlarıydı. Rotoskop makinesi, hareketin doğal akışını gerçekçi bir şekilde yakalamaya yardımcı oluyordu.

Max Fleischer'in 1917 yılında patentini aldığı Rotoskop makinesi, Fleischer Stüdyoları'nın bilinen eserlerinden Palyaço Koko, Betty Boop ve Temel Reis filmlerinin yapılmasına olanak tanıdı. Sonraki yıllarda, Walt Disney stüdyolarında karakterlerin hareketlerini gerçekçi bir şekilde aktarmak amacıyla Rotoskop makinesi sıklıkla kullanıldı.

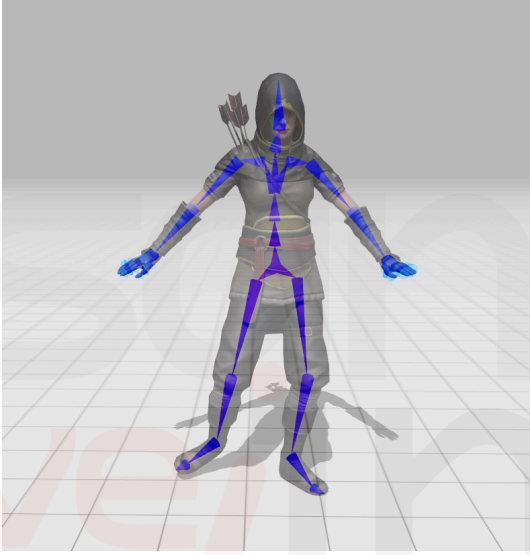
Rotoskop, film görüntülerini cam bir levhaya yansıtan bir kameranın animasyon masasının arkasına monte edilmesiyle çalışıyordu. Bu sayede kamera, filmi kare kare ilerletebiliyor ve animatör, bu görüntüleri cam levhaya aktarıp kağıt üzerine çiziyordu. Animasyonun çizimi tamamlandığında, kağıt rulolar şeffaf animasyon makaralara aktararak uygun bir şekilde boyanıyordu (Bratt, 2011, s.1).

Bu gelişim süreci, animasyon alanındaki teknolojik ilerlemeleri vurgular. Animasyon, teknolojik yeniliklerin etkisiyle her geçen gün değişen ve gelişen bir alan olarak varlığını sürdürmeye devam etmektedir.

2. Üç Boyutlu Bilgisayar Destekli Animasyon

Üç Boyutlu Animasyon (3D), üç boyutlu dijital bir ortamda üç boyutlu bilgisayar grafikleri kullanılarak oluşturulan hareketli görüntüler elde etmeye yarayan animasyon tekniğidir. Üç boyutlu animasyon (3D) tekniği, modelleme, ışıklandırma, kaplama, animasyon ve render aşamalarını içerir. İlk olarak, nesnelerin üç boyutlu modelleri oluşturulur ve ardından ışıklandırma aşamasında ışık kaynakları ve özellikleri belirlenir. Kaplama aşamasında nesnelerin yüzeyleri doku yöntemiyle detaylandırılır. Animasyon aşamasında nesnelerin hareketleri ve özellikleri belirlenirken, render çıktısıyla son görüntüler oluşturulur. Bu aşamalar bir araya gelerek etkileyici ve gerçekçi üç boyutlu animasyonlar elde edilir (Beegel, 2021). Bir 3D animasyon oluşturabilmek için üç boyutlu bir dijital alana ihtiyaç vardır. Bu teknikte yatay (X) eksen, dikey (Y) eksen ve derinlik (Z) eksen olmak üzere üç eksen etrafında 3 boyutlu nesne hareket ettirilmektedir. Cinema 4D, Blender, ZBrush, Maya, 3D Studio Max gibi programlarda bu animasyon tekniği kullanılmaktadır. 3D modelleme, sinema, animasyon, video oyunları, mühendislik, tıp, mimarlık gibi pek çok sektör tarafından kullanılmaktadır.

Morph target animasyon sistemi, karakterlerin yüz ifadelerini veya beden hareketlerini değiştirmek için önceden hazırlanmış farklı meshlerin bir araya getirilmesi yoluyla çalışır. "Kemik tabanlı iskelet animasyonundan daha fazla kontrole sahip bir ağı değiştirmek için kullanılan 3D bilgisayar animasyon tekniğidir "(Morph Target Animation, 2021). Animatör, animasyon yapmak için gerekli meshleri seçer ve ağırlıklarını ayarlar. Bu teknik, karakterin yüz ifadeleri veya beden hareketlerinde doğal ve detaylı animasyonlar oluşturmak için kullanılır.



Görsel 1. İskelet Animasyon



Görsel 2. Hareket Yakalama

İskelet animasyonu (Görsel 1), bilgisayar grafikleri ve animasyon teknikleri kullanılarak bir karakterin hareketlerini gerçekçi bir şekilde simüle etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu teknikte, karakterin anatomisi referans alınarak bir iskelet sistemi oluşturulur, bu sayede hareketin akıcı ve doğal görünmesi sağlanır. İskelet sistemi, karakterin kemiklerini ve eklem noktalarını temsil eden bir hiyerarşik yapıdır. Oluşturulan iskelet sistemiyle karakterin yürüme, koşma zıplama, dans etme gibi tüm hareketi oluşturulur. Özellikle çok sayıda karakterin veya nesnenin aynı anda hareket etmesi gereken sahnelerde oldukça kullanışlı bir yöntemdir.

Hareket Yakalama (Motion Capture) teknolojisi (Görsel 2), gerçek dünya hareketlerini dijital ortama aktarmak için kullanılan bir teknolojidir. Hareket eden kişinin hareketlerinin özel sensörler veya kameralar tarafından yakalanmasıyla toplanan verilerin bilgisayarda işlenmesine dayanan bir çalışma sistemine sahiptir.

3. Hareket Yakalama (Motion-Capture) Teknolojileri

Hareket yakalama teknolojisi, bilgisayar oyunları, film ve animasyon, sanal gerçeklik gibi alanlarda karakter veya nesne animasyonlarının gerçekçi bir şekilde oluşturulması için kullanılan bir yöntemdir. Bu teknikte, farklı sensörler ve kamera sistemleri kullanılarak hareket eden nesne veya kişinin hareketleri kaydedilir ve bilgisayar yazılımı tarafından işlenir. Hareket yakalama sistemi, kişinin veya nesnenin konumunu, rotasyonunu ve hareketini 3D uzayda takip eder. Bu veriler, bilgisayar yazılımı tarafından analiz edilir ve karakter veya nesnenin hareketini yansıtan animasyon verileri oluşturulur. Hareket yakalama sayesinde gerçek dünyadaki hareketler, dijital ortama aktarılarak daha gerçekçi ve doğal animasyonlar elde edilir. Optik sensörler, manyetik sensörler, işaretçiler, kamera izleme, iskelet tabanlı yakalama ve yüz yakalama gibi farklı yöntemler kullanılarak hareket yakalama yapılabilir. Optik sensörlerde karakter üzerindeki sensörlerin konumları önceden belirlenir ve karakter hareket ettikçe sensörlerin konumları kaydedilir. Manyetik sensörlerde de benzer şekilde sensörlerin konumları kaydedilir. İşaretçinin kullanıldığı yöntemde ise karakterin eklemeleri üzerine işaretçiler yerleştirilir ve hareket ettikçe işaretçilerin konumları kaydedilir.

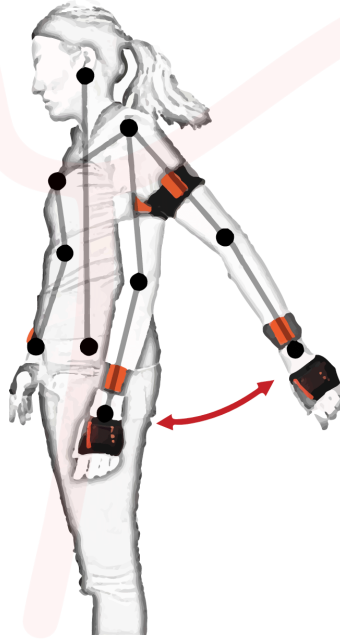
Kamera izleme yönteminde, bir karakterin hareketleri birden fazla kamera kullanılarak kaydedilir ve bilgisayar yazılımı tarafından işlenir. Yüz yakalama yönteminde ise, karakterin yüz hareketleri özel sensörler kullanılarak yakalanır.

Hareket yakalama teknikleriyle karakterin hareketi gerçekçi ve doğal bir görünüme sahip olabilmektedir. Bu teknikler, bilgisayar oyunları, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, film ve animasyon gibi alanlarda kullanılarak gerçek hayatta mümkün olmayan hareketlerin bile animasyon olarak oluşturulmasına olanak sağlar.

3.1. Hareket Temelli (IMU) sistemler

IMU tabanlı hareket yakalama teknolojisi, hareketin takibi ve izlenmesi için kullanılan bir teknoloji olup, insan hareketlerinin izlenmesi ve takibi için özellikle oyun, spor, animasyon ve sağlık endüstrilerinde kullanılmaktadır. Sensörlerden oluşan IMU'lar, üç eksenli hız ölçerler, üç eksenli jiroskoplar ve bazen üç eksenli manyetometreler gibi sensörlerden oluşur. Bu sensörler, doğru kalibrasyon ve hassasiyet ile kesin sonuçlar elde edilmesini sağlar (Dower, 2022, s. 13).

IMU tabanlı hareket yakalama teknolojisi, optik temelli hareket yakalama sistemlerine göre daha taşınabilir ve daha ucuzdur. Bununla birlikte, doğru kalibrasyon ve hassasiyet gibi faktörler doğru sonuçlar alınması için önemlidir (Zecca M. 2013). IMU tabanlı hareket yakalama teknolojisi (Görsel 3), 3D animasyon yapımı sırasında karakter hareketlerinin kaydedilmesi ve daha gerçekçi animasyonların oluşturulması için kullanılmaktadır. Bu sensörler, bir kişinin bedeninin belirli bir kısmına takılır ve o kişinin gerçek hayattaki hareketleri kaydedilir (Arlotti J. 2022). Kaydedilen hareket verileri daha sonra animasyon yazılımlarına aktarılır ve karakterin hareketleri oluşturulur (Raghavendra, P. 2017).

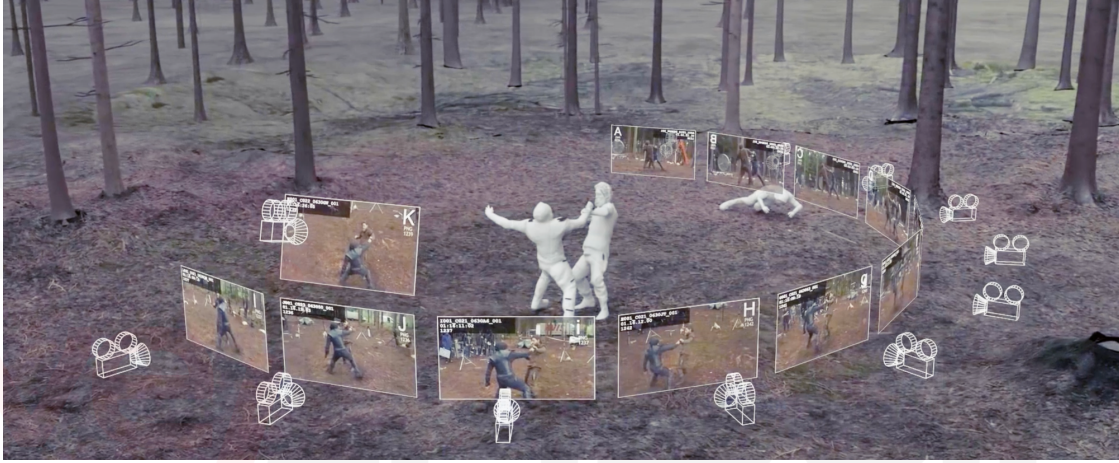


Görsel 3. IMU Tabanlı Hareket Yakalama Sistemi Ve Örnek Hareket

Sonuç olarak, IMU tabanlı hareket yakalama teknolojisi, birçok farklı sektörde kullanılan bir teknoloji olup, animasyon endüstrisinde karakter hareketlerinin gerçekçi bir biçimde oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Doğru kalibrasyon ve hassasiyet gibi faktörler, doğru sonuçlar alınması için önemlidir. IMU tabanlı hareket yakalama teknolojisi, animasyon stüdyolarının karakter animasyonlarını daha gerçekçi hale getirmelerine ve seyircilere daha iyi bir deneyim sunmalarına yardımcı olmaktadır.

3.2. Optik Temelli Sistemler

Optik temelli hareket yakalama sistemleri (Görsel 4), insanların gerçek zamanlı olarak yaptıkları hareketleri takip ederek dijital ortama aktarmak için kullanılan cihazlardır. Bu sistemler, kullanıcının hareketlerini bir veya daha fazla kamera kullanarak takip eder ve hareketi algoritmalar kullanarak dijital bir formata dönüştürür. Sensörler, belirli bir alanda hareket eden objeleri ve nesnelere yakalayıp, bir nesnenin konumunu ve hareketini belirlemek için matematiksel işlemler kullanarak hareketi algırlarlar (Dower, 2022, s. 11).



Görsel 4. Çoklu Kameralar İle Hareket Yakalama İşleminin Yapılması

Optik temelli hareket yakalama sistemleri, hareketi takip etmek için birçok farklı teknoloji kullanabilir. RGB kameralar, nesnelerin renklerini tanıyarak hareketi takip ederken (Zanfır A. 2018), kızılötesi kameralar nesnelerin yaydığı ışığı algılayarak hareketi takip ederler. Uzaklık sensörleri ise nesnelerin konumunu ve hareketini tespit etmek için lazer ışını kullanırlar. Bu sensörler, hassas ölçümler yapabilir ve hızlı hareketleri algılayabilirler. Bu teknolojiler, optik temelli hareket yakalama sistemlerinin kullanım alanlarını genişletmektedir.

3.3. İşaretçi (Marker) Sistemler

İşaretçi temelli hareket yakalama sistemleri (Görsel 5), optik temelli hareket yakalama sistemlerinin özelleşmiş bir alt dalıdır. İşaretçi kullanan sistemler, karakterin hareketini daha iyi takip edebilmek için, gözetleyici kamera ve diğer sensörlerin kolaylıkla takip edebileceği bir sistem kullanır. Bu sistemde karakterin üzerindeki bükülemez bölgelere (ön kol, arka kol, baş, göğüs, bel vs...) işaretçiler yerleştirilir, bu işaretçiler sensörler tarafından takip edilerek, gerçek zamanlı olarak hareketleri kaydeder. Bu teknoloji, özellikle animasyon, oyun, sinema ve tıp gibi alanlarda kullanılmaktadır. İşaretçi temelli hareket yakalama sisteminin tarihçesi, 1980'lerin sonlarına kadar uzanır, o dönemdeki sistemler sadece birkaç sensör ve veri toplama yazılımı içeriyordu. Ancak teknolojinin gelişmesiyle birlikte, bugünkü sistemler çok daha gelişmiş hale gelmiştir (Menache, 2011, s. 18).

İşaretçi temelli hareket yakalama sistemleri, insan vücudundaki işaretçilerin önceden yerleştirilmiş sensörler tarafından takip edilmesiyle çalışır. Sensörler bu işaretçileri takip eder, veri toplar ve bilgisayara aktarır. Veriler daha sonra, bilgisayar yazılımları tarafından işlenir ve gerçek zamanlı hareket yakalama için kullanılır. Bu teknoloji, özellikle animasyon ve oyun endüstrilerinde gerçekçi hareketlerin taklit edilmesi ve kaydedilmesi için önemli bir araçtır (Chatzitofis, A. 2021).

İşaretçi temelli hareket yakalama sistemleri, animasyon, oyun, sinema ve tıp gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Bu sistemler, gerçek hayattaki hareketleri taklit etmek ve kaydetmek için önemli bir araçtır. Ayrıca tıp ve biyomekanik alanında, hareketlerin analizi amacıyla da kullanılmaktadır (Wade L. 2022). Sonuç olarak,

işaretçi temelli hareket yakalama sistemleri, günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha da gelişmiştir ve birçok alanda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.



Görsel 5. İşaretçiler Kullanılarak Yapılan Hareket Yakalama İşlemi

4. Yapay Zeka Sistemleri

Bilgisayarlarda çalışan sistemlerde geleneksel hesaplama ve yapay zeka hesaplamaları olmak üzere 2 farklı hesaplama türü ile işlem yapılmaktadır.

Geleneksel bilgisayarlar, programlar aracılığıyla belirli bir görevi gerçekleştirmek için belirli yönergeleri izlerler. Bu yönergeler, genellikle mantıksal ve aritmetik işlemleri içerir. Bilgisayarlar, bu işlemleri seri bir şekilde gerçekleştirerek sonuçları üretirler. Örneğin, bir hesap makinesi programı, kullanıcının girdiği matematiksel işlemleri adım adım hesaplayarak sonuçları ekranda gösterir.

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir sistemlerine benzer bir şekilde çalışan yapay bir modeldir. YSA'lar, verileri işlerken öğrenilme yeteneğine sahiptirler. Öğrenme, büyük veri kümesi üzerinde tekrarlı olarak gerçekleştirilir ve ağ, veriler arasındaki karmaşık ilişkileri çıkarmayı öğrenir. Bu sayede YSA'lar, özel bir programlama olmadan da öğrendikleri görevleri gerçekleştirebilirler. Örneğin, bir görüntü tanıma YSA, binlerce farklı nesne türünü öğrenerek görüntülerde nesnelere tanıyabilir (Abiodun, O. I., 2018).

Geleneksel hesaplama, programın belirlediği sıraya ve kurallara sıkı sıkıya bağlıdır. İşlemci, verileri alır, programın yönergelerine göre işler ve sonuçları üretir. Bu işlemler belirli bir düzen ve kesin bir biçimde gerçekleşir. Örneğin, bir dosya işleme programı, verileri belirli bir sıraya göre okur ve işler. Bir hesap tablosu programı matematiksel hesaplamaları yapmak için geleneksel hesaplama kullanır.

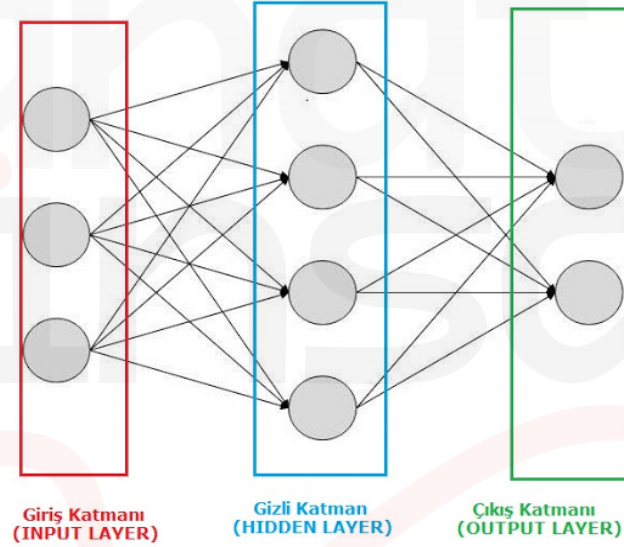
YSA'lar ise işlem biçimi olarak daha esnek ve paralel bir yaklaşım benimserler. Veriler, katmanlar halinde ağın içinden geçerken, her katman özgün işlemleri gerçekleştirir ve sonuçlar birbirine iletilir. Bu işlem, ağırlık ve eşik değerlerini otomatik olarak ayarlayarak veriler arasındaki karmaşık ilişkileri yakalar. Bu nedenle YSA'lar, esnek ve öğrenmeye dayalı bir işlem biçimine sahiptirler. YSA'nın kullanım yerleri arasında görüntü tanıma, doğal dil işleme, otonom araçlar, öneri sistemleri, duygu analizi ve daha birçok yapay zeka uygulaması bulunur. Örneğin, bir yapay sinir ağı, resimlerdeki nesnelere tanımak veya kullanıcılara ürün önerileri sunmak için kullanılabilir.

4.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağı (YSA) (Görsel 6), bilgisayar bilminde kullanılan bir yapay zeka modelidir. Temelde biyolojik sinir sistemlerinden esinlenmiş olan YSA, veri işleme ve öğrenme yeteneği ile dikkat çeker. YSA, katmanlar halinde

düzenlenmiş yapay sinir hücrelerinden oluşur ve bu hücreler, giriş verilerini işlerken ağırlıklar ve aktivasyon fonksiyonları aracılığıyla bilgiyi işlerler (Krogh, A. 2008).

YSA'nın temel bileşenleri giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanı olarak sıralanabilir. Giriş katmanı, dış dünyadan alınan verileri alır ve her veriyi ayrı bir yerde saklar. Gizli katmanlar, verileri daha karmaşık ilişkilere dönüştürmek için kullanılır. Bu katmanlardaki yapay sinir hücreleri, giriş verilerini çeşitli hesaplamalarla işleyerek sonuçları üretirler. Bu hesaplamalarda kullanılan ağırlık ve eşik değerleri, öğrenme sırasında kendiliğinden ayarlanır ve ağırlık daha iyi çalışmasını sağlar. Aktivasyon fonksiyonları, yapay sinir hücrelerinin ne tür cevap vereceğini belirler (Sarker, I.H, 2022). Farklı aktivasyon fonksiyonları, farklı işler için kullanılır. Çıkış katmanı ise YSA'nın ne yaptığını söyler. Mesela, sınıflandırma yapıyorsak çıkış katmanı, verinin hangi kategoriye ait olduğunu söyleyen sonuçları üretir.



Görsel 6. Yapay Sinir Ağı Örneği

4.2. Yapay Zeka Görüntü İşleme

Bilgisayarların görsel bilgiyi anlama yeteneğini geliştirmek amacıyla kullanılan bir alandır. Bu alandaki temel hedef, dijital görüntüler üzerinde otomatik olarak analiz yapabilen ve bu analiz sonuçlarıyla çeşitli görevleri gerçekleştirebilen algoritmalar ve modeller geliştirmektir (Esposito F., 2001).

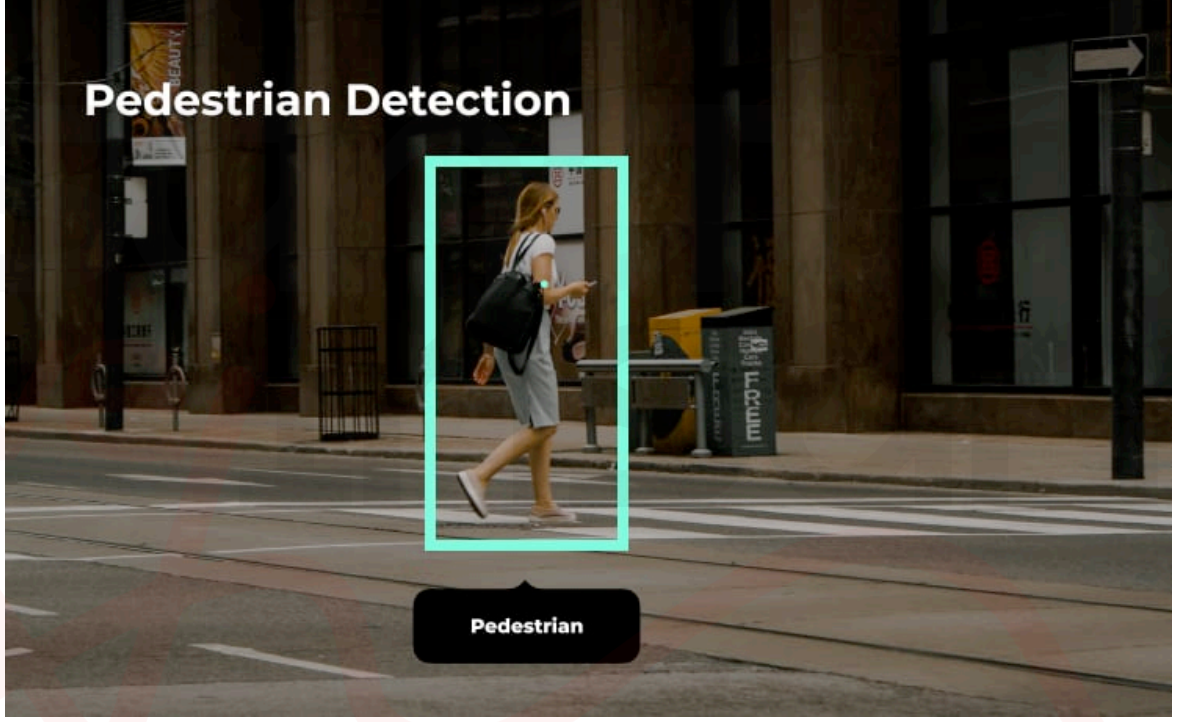
Yapay zeka görüntü işleme süreci, bir dizi temel aşamadan oluşur. İlk adım, veri toplama'dır. Bu aşamada, yapay zeka projeleri için genellikle büyük miktarda görüntü verisi toplanır. Bu veriler, kameralar, sensörler veya benzeri kaynaklar tarafından toplanır. Toplanan veriler, veri ön işleme aşamasında düzenlenir. Bu adımda, görüntüler temizlenir, boyutlandırılır, gürültü azaltılır ve renk düzeltme gibi işlemler uygulanarak veriler analiz için daha uygun hale getirilir (Lakshmanan V., 2021).

Özellik çıkarma aşaması, görüntülerdeki önemli bilgilerin temsil edilmesini amaçlar. Bu özellikler, görüntülerdeki renk dağılımı, kenarlar, şekiller, tuz-biber gürültüsü (salt and pepper noise) gibi öznelikleri içerebilir. Çıkarılan özellikler, Öğrenme ve Model Eğitimi aşamasında kullanılır. Bu aşamada, elde edilen özellikler makine öğrenimi veya derin öğrenme modellerine verilir. Modeller, bu verileri analiz ederek görsel örüntüleri ve ilişkileri öğrenirler (Ayub Khan A, 2021).

Eğitilen yapay zeka modelleri, çeşitli görüntü işleme görevleri'ni gerçekleştirmek için kullanılır. Bu görevler arasında nesne tanıma, yüz tanıma, metin tanıma, görüntü sınıflandırma ve nesne takibi gibi çeşitli işlemler bulunur. Sonuç üretme aşamasında, yapay zeka modeli, verilen görüntüler üzerinde çalışarak sonuçlar üretir. Örneğin, bir nesne

tanıma modeli, görüntüdeki nesnelere tanıyabilir ve etiketleyebilir. Son olarak, geribildirim ve iyileştirme süreci, yapay zeka görüntü işleme sistemlerinin performansını sürekli olarak geliştirmeyi amaçlar. Bu, daha fazla veriyle eğitim veya model parametrelerinin ayarlanması yoluyla gerçekleştirilebilir. Bu aşamalar, yapay zeka görüntü işleme'nin temel çalışma prensiplerini oluşturur (Lakshmanan V., 2021).

Yapay zeka görüntü işleme, otomasyon, sağlık, güvenlik, otonom araçlar (Görsel 7), eğlence, tıp görüntüleme ve birçok farklı sektörde yaygın olarak kullanılır. Bu teknoloji, bilgisayarların görsel bilgiyi işleme yeteneklerini büyük ölçüde artırarak birçok alana önemli katkılarda bulunur (Awad A., 2020).



Görsel 7. Otonom Sürüşler İçin Yayaların Görüntü İşleme İle Tespiti

Yapay Zeka ile hareket yakalamada görüntü işlemenin rolü, hareketli nesnelere izlenmesi ve hareketin analiz edilmesi süreçlerinde kritik bir öneme sahiptir. Bu süreçler veri toplama, görüntü ön işleme, hareket algılama, hareket takibi ve sonuç üretmedir. Görüntü işleme, bu süreçlerin her aşamasında kritik bir rol oynar çünkü temizlenmiş ve işlenmiş görüntüler, hareketi daha doğru bir şekilde algılamayı ve izlemeyi mümkün kılar. Yapay Zeka, bu işlenmiş verileri analiz ederek hareketi daha fazla öğrenir ve karmaşık hareket desenlerini tanıma yeteneğini geliştirir. Sonuç olarak, bu teknolojiler birlikte çalışarak hareket yakalama sistemlerini güçlendirir ve güvenlik, otomasyon, oyunlar (Görsel 8) ve daha birçok uygulama alanında kullanılır.



Görsel 8. Kinect Oyun Cihazı İle Oyuncunun Pozlarının Yakalanması Ve Oyunda (Just Dance 4) Kullanılması

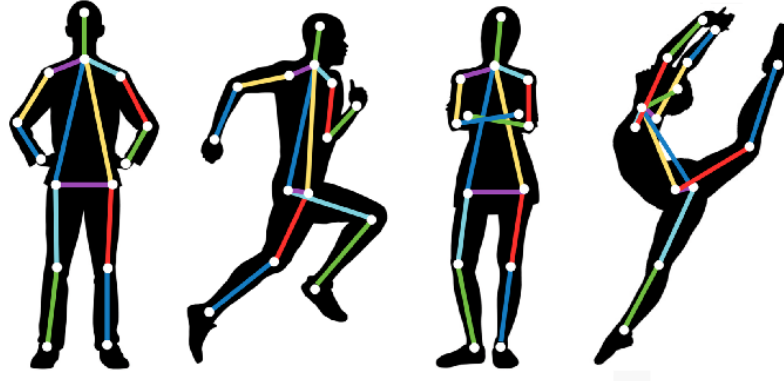
4.3. Yapay Zeka ile Hareket Yakalama

Yapay zeka ile hareket yakalama, genellikle bilgisayarlı görü ve derin öğrenme tekniklerinin birleştirilmesiyle gerçekleştirilir (Wang H., 2020).

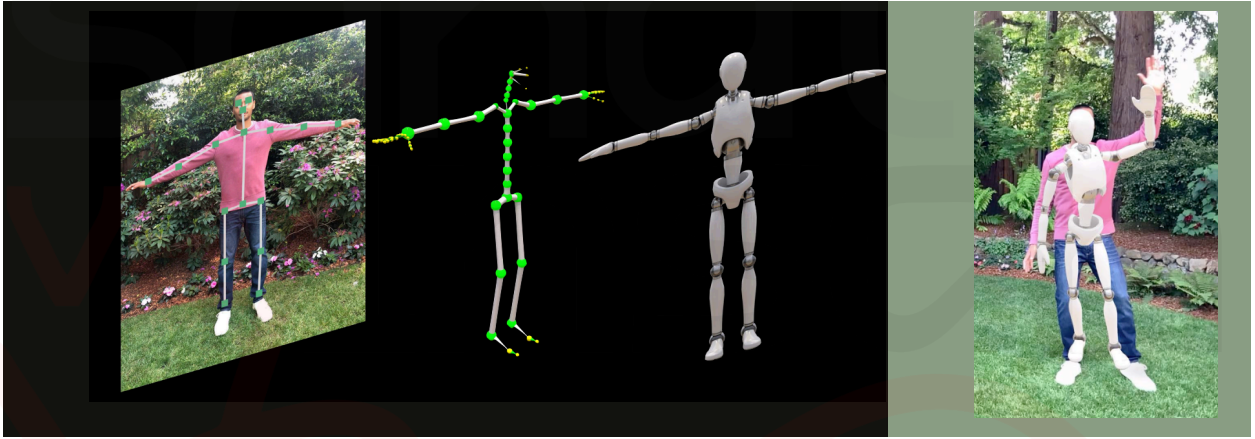
Hareket yakalama süreci, veri toplama, ön işleme, özellik çıkarma, öğrenme ve modelleme, eğitim ve ayarlama, hareket algılama ve sonuç işleme aşamalarından oluşur. İlk olarak, kameralar veya sensörler gibi donanım araçları kullanılarak hareket kaydedilir. Ardından veriler, gürültü azaltma ve düzeltme gibi ön işleme aşamalarından geçirilir (Vafadar S., 2022). Hareket için önemli özellikler belirlenir ve çıkarılır. Örneğin, bir insanın veya nesnenin hareketini tanımlamak için renk, şekil, hız, yönlendirme gibi özellikler belirlenebilir (Kanko R., 2021). Bu özellikler öğrenme ve modelleme sürecinde kullanılır. Derin öğrenme veya makine öğrenme algoritmaları, bu özelliklerle bir model geliştirir. Model, eğitim verileri kullanılarak eğitilir ve hareketleri algılamak için desenler öğrenir. Son olarak, model gerçek zamanlı verilerle hareketleri algılar ve uygun sonuçları üretir (Cronin N., 2021). Örneğin, bir güvenlik kamerası hareketi algıladığında alarmı etkinleştirebilir veya otonom bir araç, çevresindeki nesnelere algılayarak sürüş kararları alabilir.

Hareket yakalama, oyun geliştirme, güvenlik, tıp, otomasyon ve birçok diğer alan için önemlidir. Teknolojinin ilerlemesiyle, daha hassas ve karmaşık hareket yakalama sistemleri geliştirilmekte ve kullanılmaktadır (Kozan E., 2022).

Yapay zeka, insan hareketlerini yakalamak ve duruş tahmini yapmak için çeşitli teknikler kullanabilir. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan duruş tahmini (pose estimation), bir kişinin veya nesnenin vücut pozisyonunu ve hareketini belirleme sürecidir. İnsan duruş tahmini için, 2D (Görsel 9) ve 3D (Görsel 10) duruş tahmini teknikleri kullanılır. Bunlar, çoklu kameralardan veya tek bir kameradan alınan görüntüler üzerinde çalışabilirler (Toshev A., 2014).

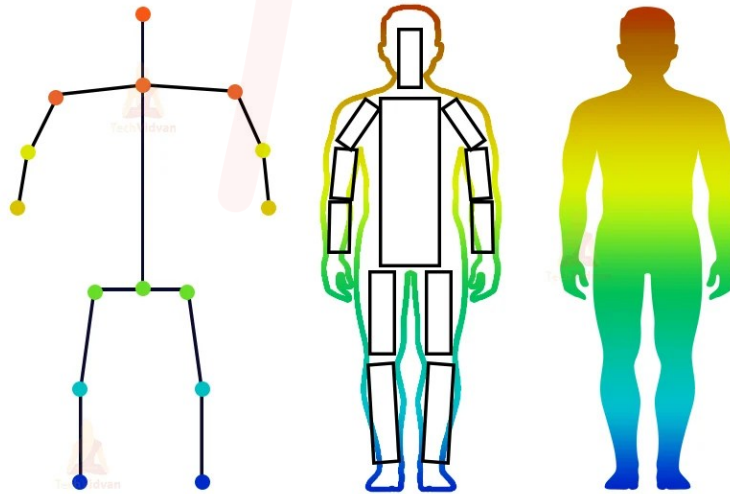


Görsel 9. 2D Karakter Silueti Üzerinde Eklem Noktalarını Tanımlayarak Duruş Tahmini Yapılması



Görsel 10. 3D Karakter Üzerinde Eklem Noktalarını Tanımlayarak Duruş Tahmini Yapılması

İnsan duruş tahmini, insan vücut eklemlerini (bilek, omuz, diz, göz, kulak, ayak bileği ve kollar gibi) tanımlayarak, bu noktaların görseller üzerinde konumlarını tahmin eden bir koordinat yakalama şeklidir. Bu noktalar bir kişinin duruşunu tanımlayabilirler ve sabit görüntüler ve videolar üzerinde çalışabilirler. Eğitilmiş bir insan duruş tahmini yakalama modeline bir görüntü veya video girdi olarak verildiğinde; duruş tahmin modeli saptanan bu vücut uzvunun ve eklemlerinin konumunu veri olarak tespit eder ve tahminlerin güvenilirliğini değerlendiren bir puan sunar (Sun, K., 2019). Duruş tahmininde iskelet, kontur ve hacimsel (Görsel 11) olmak üzere farklı metotlar bulunmaktadır:



Görsel 11. Sırası ile iskelet, kontur ve hacimsel duruş tahmini modelleri

İskelet tabanlı model: Bu modelde, bir kişinin vücut parçalarının (örneğin, baş, omuzlar, dirsekler, eller, kalça, dizler ve ayaklar gibi) konumlarını tahmin etmeye çalışır ve bu parçaların birbirleriyle olan ilişkilerini belirler (Cao Z., 2019). İskelet tabanlı duruş tahmini, bilgisayarla görme ve makine öğrenimi tekniklerini kullanarak gerçek zamanlı duruş analizi ve takibi yaparak hareket yakalama, sağlık durumunun izlenmesi, oyun geliştirme ve benzeri birçok farklı uygulama alanında kullanılmaktadır. Örneğin, bu tür bir hareket yakalama modeli, hasta yere düştüğünde hızla alarm vererek sağlık durumunu izlemeye yardımcı olabilir.

Kontur tabanlı model: İnsan vücut pozlarını tahmin etmek için vücut konturlarını kullanarak çalışan bir yaklaşımı ifade eder. Bu yaklaşım, insan vücudunun dış hatlarını ve ana bileşenlerini algılamayı amaçlar ve bu konturlar arasındaki ilişkileri analiz eder. Özellikle video oyunları, hareket yakalama sistemleri ve insan davranışı analizi gibi uygulamalarda kullanılan bu yöntem, vücut konturlarının daha belirgin olduğu durumlarda diğer metotlara göre daha avantajlı olabilmektedir.

Hacim tabanlı model: İnsan vücut pozlarını tahmin etmek için vücut parçalarının 3D hacim bilgisini temel alan bir yaklaşımı ifade eder. Bu model, vücut parçalarının 3D ortamda nasıl dağıldığını ve konumlandığını tahmin ederek bir kişinin vücut pozunu belirler. Genellikle 2D veya 3D görüntüler kullanılarak eğitilen bu model, vücut parçalarının hacimlerini ve yoğunluklarını hesaplar ve bu verileri kullanarak poz tahmini yapar.

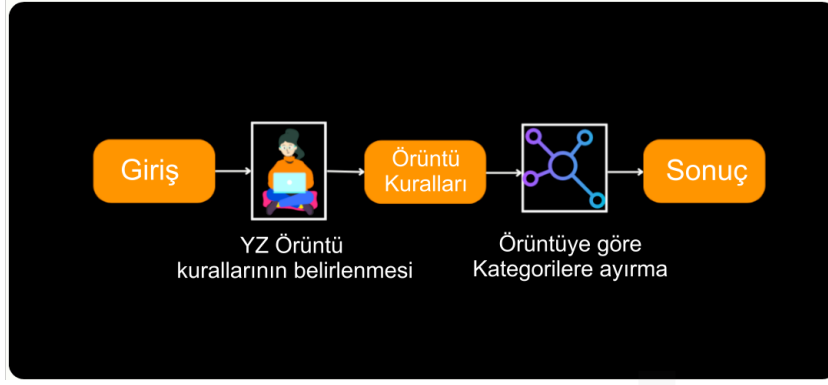
Yapay zeka algoritmaları, günden güne gelişmiştir ve daha iyi sonuçlar için daha farklı teknikler geliştirilmiştir. Hareket yakalama teknolojilerinde 2 temel yapay zeka tekniği kullanılmaktadır ve bu tekniklerin kendi içlerinde avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar : klasik makine öğrenimi ile insan duruş tahmini ve derin öğrenme yöntemi ile insan duruş tahminidir.

4.3.1. Klasik Makine Öğrenimi İle İnsan Duruş Tahmini

Geleneksel insan duruş tahmini yöntemleri klasik makine öğrenimi algoritmalarını kullanarak gerçekleştirilir (Görsel 12). Bu yöntemler insan vücudunun duruşunu tahmin etmek için adım adım bir süreç izler. İlk olarak insan vücudunun anahtar bölgeleri ve eklem yerleri gibi belirli noktalarının verileri kullanılarak bir yapay zeka modeli oluşturulur. Bu noktalar görüntü veya videolar içinde kişinin duruşunu ifade eden önemli referans noktalarını temsil eder (Dubey, S., 2023).

Daha sonra bir görüntü veya video bu yapay zeka modeline girdi olarak verildiğinde, bu model tespit edilen vücut bölgelerinin ve eklem yerlerinin koordinatlarını tahmin eder. Aynı zamanda bu tahminlerin ne kadar doğru olduğunu belirten bir güven skoru sağlar. Bu şekilde yapay zeka modeli kişinin duruşunu tahmin eder (Rodrigues, N, 2019).

Yapay zeka modellerinin oluşturulmasında, model eğitilirken kullanılacak kuralların ve özelliklerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Klasik makine öğreniminde bu kurallar ve özellikler geliştirici tarafından belirlenirken, derin öğrenme tekniklerinde ise yapay zeka hesaplaması tarafından kendiliğinden ortaya çıkarılması gerekir. Bu nedenle, klasik makine öğrenimi derin öğrenme tekniklerine kıyasla daha az hesaplama gücü gerektirir. Ancak klasik yöntemler genellikle daha düşük doğruluk seviyelerine sahip olabilir ve derin öğrenme yöntemlerinin ulaşabildiği kadar genellemeye uygun değildir yani belirli hareketleri yakalamak için özelleşmiş olabilirler (Gamra, M. B., 2021).

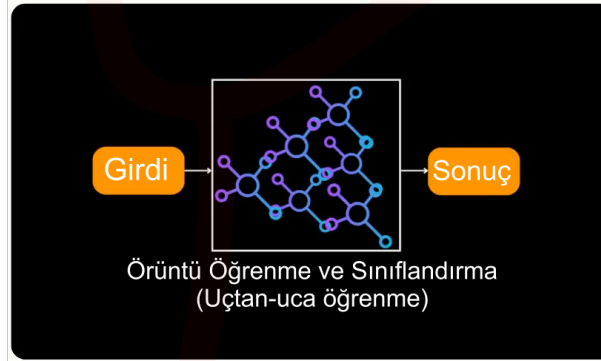


Görsel 12. Geleneksel Makine Öğrenmesi İş Akışı

Bir örnek olarak, Gregory Rogez ve ekibi yaptığı bir araştırmada, klasik makine öğrenmesinin alt dalı olan rastgele orman algoritması kullanarak insan duruş tahminlemesi üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, klasik makine öğrenmesinin, derin öğrenme yöntemlerine kıyasla daha hızlı sonuçlar verdiğini göstermektedir (V. Leroy, 2020).

4.3.2. Derin Öğrenme Yöntemi ile İnsan Duruş Tahmini

Derin öğrenme yöntemleri yapay sinir ağlarına dayanır ve insan beyninin davranışını taklit etmek üzere tasarlanmıştır. Derin öğrenme yöntemi bir girdi resmini alabilir, resimdeki farklı nesnelere ağırlık atayabilir ve bunları birbirinden ayırabilir. Bu yapay zeka modeli, klasik öğrenmede geliştiricinin belirlediği veri ön işleme ve özellik seçimi gibi işlemlerin yapılmasını gerektirmeden veri kümelerindeki bilgileri sınıflandırabilir ve fotoğraftaki duruşu tahmin edebilir (Görsel 13).



Görsel 13. Derin Makine Öğrenmesi İş Akışı

Derin öğrenme modelleri insan duruş tahmini gibi bilgisayarlı görü görevlerinde (bilgisayara gelen video ve fotoğraflardan anlam çıkarıp işlem yapmak) klasik makine öğrenimi tekniklerine kıyasla genellikle daha iyi performans gösterir. Derin öğrenme tekniği, görseller arasındaki ilişki ve örüntüleri kendi çıkarabildiği için; yüksek hassasiyet ve doğrulukla insan duruş tahmini yapabilir.

Örneğin Facebook'taki araştırmacılar tarafından 2017 yılında piyasaya sürülen Mask-RCNN (He K., 2018) adlı son teknoloji modeli, sınıflandırma gibi farklı bilgisayarlı görme görevlerini gerçekleştirebilmektedir. Bu yapay zeka modeli, objelerin görseldeki konum ve büyüklüğünü gösteren çerçeve ve eklem noktalarının tespiti de dahil olmak üzere çeşitli görevleri yerine getirebilir.

İnsan duruş tahmini için Mask-RCNN tepeden aşağı bir yaklaşım izler. İlk olarak kişi tespiti yapar, ardından insan vücudundaki anahtar noktaları tanır. Mask-RCNN algoritmasının yaratıcıları, bu yapay zeka modelini Microsoft

Coco (Lin T., 2015) adlı popüler bir görüntü veri kümesinde (içerisinde 330.000 den fazla görsel ve etiketleri mevcuttur) eğitti. Bu yapay zeka modeli, anahtar nokta tespitinde Microsoft Coco veri kümesi üzerinde öğrenme yapan diğer yapay zeka modellerinden daha basit, daha hızlı ve daha iyi performans göstermiştir.

Derin öğrenme yöntemi klasik makine öğrenmesine göre genelde daha iyi sonuç çıkarır ama derin öğrenme iş akışını gerçekleştirmek daha zordur. Derin öğrenme için çok büyük veri setlerine (eğitimde kullanılacak görsel ve görseldeki hareketin bilgisi) ihtiyaç vardır. Ayrıca hareket tanıma için gerekli yapay sinir ağı büyük olacağı için, hem bu ağı oluşturmak (eğitmek) için gereken süre fazla olacaktır hem de oluşan bu ağı çalıştırmak için daha iyi donanımların kullanılması gerekecektir (Janiesch, C., 2021).

4.4. Yapay Zeka İle Hareket Yakalamanın Zorlukları

Kullanıcılar, yapay zeka destekli hareket yakalama teknolojileriyle karşılaştıklarında çeşitli zorluklarla mücadele edebilirler. Bu zorlukları daha ayrıntılı bir şekilde ele almak gerekirse ilk olarak teknoloji becerisi ve eğitim gereksinimlerinden bahsedilebilir. Bu tür teknolojileri kullanmak, bazı kullanıcılar için teknoloji becerisi gerektirebilir. Özellikle yaşlı veya teknoloji konusunda deneyimsiz kullanıcıların, nasıl kullanacaklarını öğrenmeleri ve alıştırma yapmaları gerekebilir. Kullanıcıların bu teknolojilere dair eğitim alması önerilebilir.

Diğer önemli bir zorluk ise hareket tanıma doğruluğudur. Hareket yakalama sistemlerinin doğruluk seviyeleri değişebilir. Kullanıcılar, sistemin istedikleri hareketleri doğru bir şekilde tanıyıp tanımadığını sık sık kontrol etmek zorunda kalabilirler. Yanlış tanımlar veya eksik tanımlar, kullanıcı deneyimini olumsuz etkileyebilir.

Kullanıcılar, bu tür teknolojilerle toplanan kişisel verilerin gizliliği ve güvenliği konusunda endişe yaşayabilirler. Verilerin kötüye kullanılması veya yetkisiz erişim, ciddi sorunlara yol açabilir. Bunun dışında yazılım sorunları da kullanımda zorluklara sebep olmaktadır. Hareket yakalama yazılımının kararlılığı ve kullanıcı dostu olması kritik bir öneme sahiptir. Yazılım hataları veya karmaşık kullanıcı arayüzleri nedeniyle kullanıcılar bu teknolojileri kullanırken çeşitli zorluklarla karşılaşabilirler. Yazılım geliştiricilerinin sürekli güncellemeler sunmaları ve kullanıcı dostu arayüzler tasarlamaları önemlidir. Bu zorlukların aşılması, yapay zeka temelli hareket yakalama sistemlerinin daha yaygın kullanılmasını sağlayacaktır.

4.5. Yapay Zeka İle Hareket Yakalama Sisteminin Oyun Sektöründe Kullanımı

Hareket yakalama sistemleri, uzun zamandır kullanılmaktadır. Son yıllarda yapay zeka teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte birçok alana etki etmiştir. Hareket yakalama konusunda da, birçok firma ve uygulama, kendi ürünlerine bu teknolojiyi dahil etmiştir ve ürünlerinin kalitesini artırıp, erişilebilir fiyatlandırma politikaları ile daha fazla kullanıcının bu alanlara yönelmesini sağlamışlardır.

Genel olarak bakıldığında, bu ürünlerin kullanım şekilleri, teknolojinin ortak olması sebebiyle birbirine benzemektedir. Bu sistemlerde bir ya da birden çok kamera kullanılması mümkündür. Tek kameralı çözümler, maliyet ve erişilebilirlik bakımından çoklu kameralara göre daha fazla tercih edilmektedir. Tek kameralı sistemlerde sabit bir kamera, hareketi yakalamak istediğiniz kişinin vücudunu, video kadrajının içinde olacak şekilde kamera tarafından kaydeder. Elde edilen video kaydı, sunucularda işlenerek 3 boyutlu animasyon bilgisine dönüştürülmektedir. Bu animasyon verisi FBX ve BVH formatında kullanıcılara sunulduktan sonra, desteklenen bir oyun motorunda (Unity/ Unreal) ya da bir modelleme/animasyon programında (Maya/Blender) rahatlıkla kullanılabilir (Rokoko).

Oyun geliştiricileri, yapay zeka temelli hareket yakalama teknolojilerini kullanarak bir dizi insan hareketini yakalayabilirler. Bu hareketler, hafif jestlerden dinamik eylemlere kadar çeşitli olabilir. Özellikle rol yapma ve macera oyunları için bu yetenek önemlidir, çünkü karakter etkileşimleri ve tepkileri hikayenin merkezindedir. Gerçek dünya sporlarını veya yarışları simüle eden oyunlar için, sporcuların hareketlerini veya yarışçıların manevralarını yakalayarak, oyun karakterlerinin gerçek dünyadaki karşılıkları gibi hareket etmelerini sağlar. Dans ve ritim oyunları için

koreograflar dans rutinlerini sergileyebilir ve bu rutinler doğrudan oyunun içine entegre edilebilir, böylece her adım, dönüş ve hareket müziğe senkronize edilerek kullanılabilir. Savaş veya stratejik hareketleri içeren oyunlar için, dövüş sanatçıların veya askeri personelin eylemlerini yakalayabilir ve oyunlarda kullanılabilir.

Oyun geliştiricileri, oyun içi sinematikler oluşturmak için bu teknolojiyi kullanabilirler. Aktörlerin performanslarını yakalayıp, etkileyici ve oyunun hikayesine sadık sinematikler oluşturabilirler.

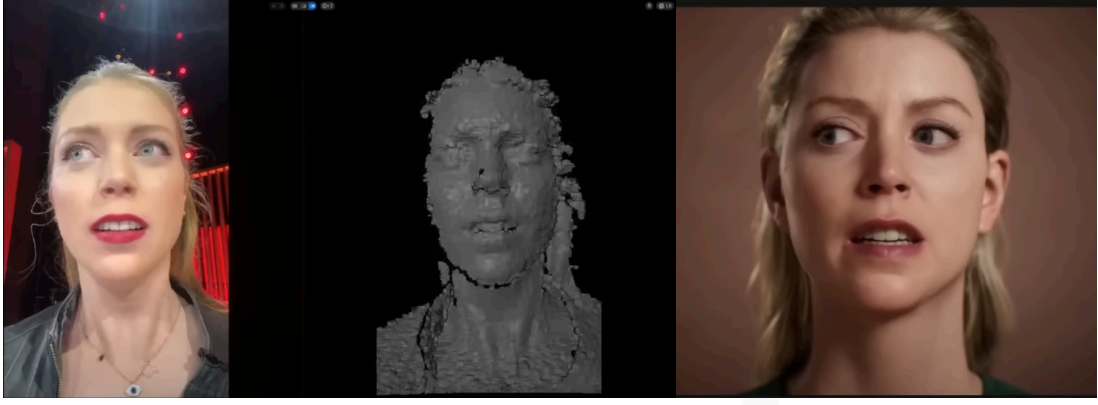
Sanal ve artırılmış gerçeklik oyunları daha popüler hale geldikçe, gerçekçi hareket yakalama ihtiyacı artacaktır, VR ve AR ortamlarına entegre edilebilen hareketleri yakalamak için bu teknoloji kullanılabilir, böylece oyuncuların avaturları sanal alan içinde doğal bir şekilde hareket edebilir.

Bu teknolojiyi kullanarak ürün geliştiren birçok firma bulunmaktadır. Plask Motion, plask firmasının yapay zeka destekli hareket yakalama uygulamasıdır. DeepMotion ise benzer özelliklere sahip başka bir uygulamadır. Move.ai önceki uygulamalar gibi videoları işleyerek çalışır. Move.ai, cep telefonları üzerinden direkt olarak video kaydı alabilmekte ve animasyona dönüştürüp cep telefonu üzerinden gösterebilmektedir. Rokoko ise benzer özelliklere sahip olmasının yanında, ücretsiz kullanım imkanı olan bir uygulamadır (Görsel 14). Buraya kadar bahsi geçen uygulamalar, kaydedilen video görüntülerini kendi sunucularında işler ve sonuçlarını kullanıcı bilgisayarına gönderir. Çoğunluğu için kullanım ücreti mevcuttur. FreeMoCap ise, açık kaynak bir yazılımdır ve diğerleri gibi kamera görüntülerini animasyona dönüştürür. FreeMoCap herhangi bir sunucu barındırmadığı için, yapay zeka algoritmaları yerel bilgisayar üzerinde çalıştırılır. Genel olarak bakıldığında, tek kameralı sistemlerin yanında, birden fazla kamera kullanarak daha detaylı ve daha kaliteli animasyonlar üretmek mümkündür. Aktörü farklı açılardan gösteren kamera açılarıyla, kör noktalar kapatılır ve daha tutarlı bir animasyon oluşturulabilir.



Görsel 14. Çift Kameralı, İşaretçi Kullanılmadan Gerçekleştirilen Hareket Yakalama Örneği (Rokoko)

Yapay zeka teknolojisi, 3D duruş tahmininin yanı sıra, yüz animasyonlarının yakalanması için de kullanılmaktadır. Unreal Engine tarafından geliştirilen yeni yüz yakalama teknolojisi ile Hellblade 2 oyunu için hazırlanan animasyon ve ara sahne videoları bu teknoloji ile yapılmaktadır (Görsel 15).



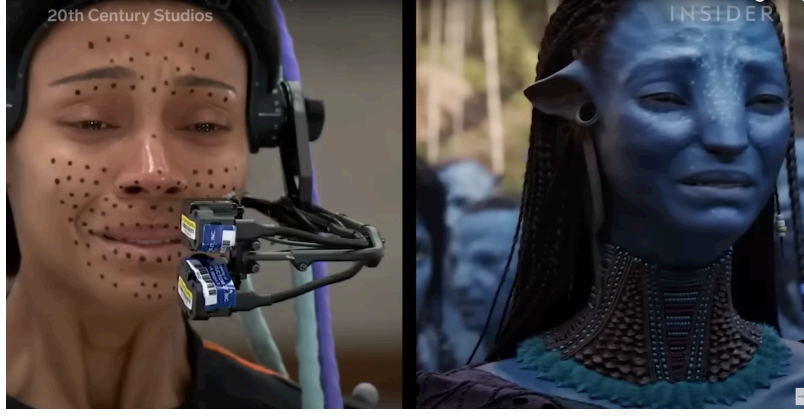
Görsel 15. Unreal Engine İçin Tanıtılan Yüz Animasyonu Yakalama Örneği.

4.6. Yapay Zeka İle Hareket Yakalama Sisteminin Animasyon Sektöründe Kullanımı

Animasyon film sektöründe işaretçi temelli hareket yakalama sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin yüksek hassasiyetle hareketi yakalama kabiliyeti, sektörde öncelikli tercih sebebidir. Bu tarz hareket yakalama sistemlerinde daha detaylı bir tahmin için yapay zeka hesaplamalarına başvurulması normaldir ama genel anlamda işaretçi olmadan, detaylı hareketlerin yapay zeka algoritmaları ile algılanması pek mümkün görünmemektedir.

Yapay zeka temelli insan duruş tahmini yapan uygulamalara bakıldığında, animasyon filmleri açısından günümüz için hala düşük kalitede sonuçlar üretilmektedir. Yüz ve mimik hareketleri yakalama işlemleri incelendiği zaman, yapay zeka temelli çözümlerin bu alanda daha yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Yüz hareket yakalama sistemleri için yüzün belirli noktaları boyanır, bu boyanan referans noktalar aracılığı ile hareket takip edilir. Daha önceleri tek kamera ile yüz hareketleri yakalama yapılıyorken, daha gerçekçi sonuçlar üretmek için 2 kameralı sistemler kullanılmaya başlanmıştır. 2 kameradan gelen farklı bilgiler, yapay zeka yardımıyla birleştirilip, hassas sonuçlar üretilmektedir. “Avatar 2 - Suyun Yolu” filminde yüz hareketleri için, Weta şirketinin üretmiş olduğu sistem kullanılmaktadır. 2009 yılında gösterime giren ilk Avatar filmi ile karşılaştırıldığında, fiziksel olarak daha gerçekçi ve doğal yüz animasyonları oluşturulmuştur (Görse 16).





Görsel 16. Avatar Filmlerine Ait Yüz Animasyonu Yakalama Örneği.
Üstte Avatar (2009), Altta Avatar – Suyun Yolu (2022) Filmleri Gösterilmektedir.

5. Sonuç

İnsan hareketlerinin gerçekçi ve doğal olarak bir animasyon filmine aktarılması yaklaşık 100 yıl önceye dayanmaktadır. 1920'lerde rotoskop makinesi ile gerçek görüntülerin üzerinden yeniden çizimler yapılarak ilk hareket yakalama işlemi gerçekleştirilmiştir. 1950'lerde, animatör Lee Harrison III potansiyometre (elektrik voltaj farkını ölçen cihaz) kullanarak ilk mocap giysisini geliştirmiş ve gerçek zamanlı hareketleri kaydetmiştir. 2000'lerde ise, bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile işaretçi temelli animasyon yakalama sistemleri geliştirilmiş ve hareket yakalama kullanan ilk animasyon filmlerinden olan Polar Express yayınlanmıştır. 2015 yılında ise yapay zeka temelli sistemlerin gelişmesi hareket yakalama sistemlerini etkilemiş ve ilk sonuçlar alınmaya başlanmıştır.

Yapay zekâ temelli sistemler, pahalı mocap giysilerine ve sistemlerine gerek kalmadan hareket yakalamayı mümkün hale getirmiştir. Tek bir cep telefonu ya da kamera kullanılarak kaydedilen videolardan, 2 ya da 3 boyutlu animasyonlarda hareketi yakalamak mümkün hale gelmiştir. 2020 yılından itibaren bu alanda çok hızlı bir gelişme yaşandığı görülmektedir. Yapay zekâ uygulamaları için çok fazla örnek-sonuç ikilisinin olduğu veri kümeleri gerekmektedir. İnternetin daha erişilebilir olması ve internet hızındaki artış sebebiyle, veri kümelerinin oluşturulması mümkün hale gelmiştir ve hareket yakalama uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca çift kameralı sistemler ile daha doğru sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. Sadece el ya da yüz animasyonuna odaklanan uygulamalar ile, kısmi olarak hareket yakalama uygulamaları geliştirilmeye başlanmıştır.

Yapay zeka destekli hareket yakalama sistemleri, el animasyonu, yüz animasyonu ve karakter animasyonu gibi farklı alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. El ve yüz animasyonları, olgunluk düzeylerine ulaşmış ve büyük bütçeli ticari ürünlerde kullanılmıştır. Örneğin, "Avatar 2" filmi gibi yapımlarda gerçekçi yüz animasyonları, yapay zeka destekli sistemlerle başarıyla oluşturulmuştur. Aynı şekilde, "Hellblade 2" oyununda ara sahneler ve oyun içi animasyonlarda yapay zeka destekli sistemlere başvurulmuştur. "Oculus Quest 2-3" ve "Apple Vision Pro" gibi sistemlerde, el hareketlerinin algılanması ve animasyona dönüştürülmesi için yapay zeka uygulamaları kullanılmıştır.

Karakter animasyonu konusunda ise sürekli araştırmalar yapılmaktadır ve her ay daha gelişmiş sistemlerin ortaya çıkması artık olağan bir durum haline gelmiştir. Hareket yakalama sistemlerinde karakterin hareketinin yakalanması büyük bir öneme sahiptir ve bu işlem, hareket yakalamanın büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Mevcut animasyon filmleri ve oyunlar incelendiğinde, genellikle karakter animasyonları için Vicon şirketi tarafından geliştirilen işaretçi tabanlı hareket yakalama sisteminin kullanıldığı görülmektedir. Ancak, Vicon şirketi Ağustos 2023'te yayınlanan yeni versiyonlarının işaretçilere gerek duymadan tamamen yapay zeka tabanlı hareket yakalama teknolojisini destekleyeceğini duyurmuştur. Büyük bütçeli animasyon filmlerin ve oyunların geliştirilme süreci ortalama 3 yıl olarak

düşünüldüğünde, gelecekte tüm hareket yakalama sistemlerinin işaretçilere gerek duymadan tamamen yapay zeka destekli sistemlerle çalışacağı öngörülmektedir.

Kaynakça

Arlotti, J., Carroll, W., Afifi, Y., Talegaonkar, P., Albuquerque, L., Burch V, R., Ball, J., Chander, H., & Petway, A. (2022). Benefits of IMU-based Wearables in Sports Medicine: Narrative Review. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 10(1), 36-43. doi:10.7575/aiac.ijkss.v.10n.1p.36

Abiodun, O. I., Jantan, A., Omolara, A. E., Dada, K. V., Mohamed, N. A., & Arshad, H. (2018). State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey. *Heliyon*, 4(11), e00938. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00938>.

Bratt, B. (2011). *ROTOPAINING Techniques and tools for the Aspiring Artist*. Focal Press. Published by Elsevier.

Chatzitofis, A., Zarpalas, D., Daras, P., & Kollias, S. (2021). DeMoCap: Low-Cost Marker-Based Motion Capture. *International Journal of Computer Vision*, 129(12), 3338–3366. <https://doi.org/10.1007/s11263-021-01526-z>

Cronin, N. J. (2021). Using deep neural networks for kinematic analysis: Challenges and opportunities. *Journal of Biomechanics*, 123, 110460. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110460>.

Dubey, S., & Dixit, M. (2022). A comprehensive survey on human pose estimation approaches. *Multimedia Systems*, 29(1), 167–195. <https://doi.org/10.1007/s00530-022-00980-0>.

Esposito, F., & Malerba, D. (2001). Machine learning in computer vision. *Applied Artificial Intelligence*, 15(8), 693-705.

Gamra, M., & Akhlofi, M. A. (2021). A review of deep learning techniques for 2D and 3D human pose estimation. *Image and Vision Computing*, 114, 104282. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2021.104282>.

Hassaballah, M., & Awad, A. I. (Eds.). (2020). *Deep Learning in Computer Vision: Principles and Applications* (1st ed.). CRC Press. ISBN: 9781032242859.

Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electron Markets*, 31, 685–695. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2>.

Kanko, R., Laende, E., Strutzenberger, G., Brown, M., Selbie, W. S., De Paul, V., Scott, S. H., & Deluzio, K. (2021). Assessment of spatiotemporal gait parameters using a deep learning algorithm-based markerless motion capture system. *Journal of Biomechanics*, 122, 110414. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110414>.

Kozan, E. (2022). Sinemada Motion Capture Uygulamalarında Yazılım Şirketlerin Estetik ve Teknolojik Çözümleri. *Sakarya İletişim*, 2(1), 34-47. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/silet/issue/70124/1124293>.

Lakshmanan, V., Görner, M., & Gillard, R. (2021). *Practical Machine Learning for Computer Vision*. O'Reilly Media, Inc. ISBN: 9781098102364.

Leroy, V., Weinzaepfel, P., Brégier, R., Combaluzier, H., & Rogez, G. (2020). SMPLy Benchmarking 3D Human Pose Estimation in the Wild. *2020 International Conference on 3D Vision (3DV)*, Fukuoka, Japan, pp. 301-310.

Padmanabha, R., Sachin, M., P. Srinivas, V. Talasila (2016). Design and Development of a Real-Time, Low-Cost IMU based Human Motion capture system.

Rodrigues, N., Torres, H., Oliveira, B., Borges, J., Queirós, S., Mendes, J., Fonseca, J., Coelho, V., & Brito, J. (2019). Top-Down Human Pose Estimation with Depth Images and Domain Adaptation. 281-288. <https://doi.org/10.5220/0007344602810288>.

Sarker, I. H. (2022). AI-Based Modeling: Techniques, Applications and Research Issues Towards Automation, Intelligent and Smart Systems. SN Computer Science, 3. <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-x>.

Vafadar, S., Skalli, W., Bonnet-Lebrun, A., Assi, A., & Gajny, L. (2022). Assessment of a novel deep learning-based marker-less motion capture system for gait study. Gait Posture, 94, 138-143. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.03.008>.

Wade, L., Needham, L., McGuigan, P., & Bilzon, J. (2022). Applications and limitations of current markerless motion capture methods for clinical gait biomechanics. PeerJ, 10, e12995. <https://doi.org/10.7717/peerj.12995>.

Wells, P. (1998). Understanding Animation. New York; London, Routledge Taylor and Francis Group.

Zanfir, A., Marinoiu, E., & Sminchisescu, C. (2018). Monocular 3D Pose and Shape Estimation of Multiple People in Natural Scenes: The Importance of Multiple Scene Constraints. 2148-2157. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00229>.

Zecca, M., Saito, K., Sessa, S., Bartolomeo, L., Lin, Z., Cosentino, S., Ishii, H., Ikai, T., & Takanishi, A. (2013). Use of an ultra-miniaturized IMU-based motion capture system for objective evaluation and assessment of walking skills. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 4883-4886. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2013.6610642>.

Görsel Kaynaklar:

Görsel 1: <https://vladh.net/game-engine-skeletal-animation> Erişim Tarihi : 17.04.2023

Görsel 2: <https://www.vfxvoice.com/what-mocap-suit-suits-you/> Erişim Tarihi : 18.04.2023

Görsel 3: https://www.researchgate.net/figure/MU-sensors-orange-used-to-track-arm-movements-Sensors-placed-on-the-back-of-the-hands_fig1_337364964 Erişim: 18.04.2023

Görsel 4: <https://captury.com/> Erişim: 19.04.2023

Görsel 5: <https://www.vfxvoice.com/what-mocap-suit-suits-you/> Erişim: 19.04.2023

Görsel 6: <https://www.veribilimiokulu.com/wp-content/uploads/2020/04/unnamed.jpg> Erişim: 03.10.2023

Görsel 7: <https://opencv.org/blog/2020/10/27/multiple-object-tracking-in-realtime/> Erişim : 01.10.2023

Görsel 9: <https://editor.analyticsvidhya.com/uploads/65603fig.png> Erişim : 18.10.2023

Görsel 10: <https://developer.apple.com/documentation/arkit> Erişim : 03.10.2023

Görsel 11: <https://i2.wp.com/techvidvan.com/tutorials/wp-content/uploads/sites/2/2021/09/types-of-pose-estimation-model.webp?ssl=1> Erişim : 18.10.2023

Görsel 14: <https://docs.rokoko.com/rkk-vision-documentation/get-started/quick-start-guide>, Erişim : 18.10.2023

Görsel 15: <https://www.youtube.com/watch?v=pnaKyc3mQVk> Erişim : 18.10.2023

Görsel 16: <https://www.youtube.com/watch?v=IPQ5vTqqdE> Erişim : 18.10.2023

<https://plask.ai/> Erişim : 18.10.2023

<https://www.deepmotion.com/> Erişim : 18.10.2023

<https://www.move.ai/> Erişim : 18.10.2023

<https://www.rokoko.com/> Erişim : 18.10.2023

<https://freemocap.org/> Erişim : 18.10.2023

<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2022/01/a-comprehensive-guide-on-human-pose-estimation/> Erişim :
18.10.2023

