

**FUTBOL MAÇ ANALİZİ İÇİN MAÇ YAYIN
GÖRÜNTÜSÜNDEN KAMERA KALİBRASYONU**

**CAMERA CALIBRATION FROM MATCH
BROADCASTING IMAGE FOR FOOTBALL MATCH
ANALYSIS**

RAMAZAN SEYFELİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ SERDAR ARITAN
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
BİLGİSAYAR GRAFİĞİ Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2022

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

..... / /

(İmza)

Ramazan SEYFELİ

ÖZET

FUTBOL MAÇ ANALİZİ İÇİN MAÇ YAYINI GÖRÜNTÜLERİNİN KAMERA KALİBRASYONU

Ramazan SEYFELİ

Yüksek Lisans, Bilgisayar Animasyonu ve Oyun Teknolojileri Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Ü. Serdar ARITAN

Eylül 2022, 52 sayfa

Dijital kamera kalibrasyonu, görüntü karelerindeki bilinen noktaların pozisyonları kullanılarak konum dönüşümü için gerekli olan matrisin elde edilmesini sağlar. Bu matris kullanılarak görüntü kareleri sahaya üstten dik açıyla bakan görüntü karelerine dönüşmektedir ve bu sayede konumlar arasında ilişki kurulabilmektedir.

Futbolda saha içi analizleri ilk olarak futbolcuların saha içerisinde yaptıkları her türlü aksiyonu veriye dönüştürmektedir. Elde edilen veriler kullanılarak takımların ve futbolcuların eksik yönlerini geliştirilmesinde bu analizler büyük bir öneme sahiptir. Takımlar daha önce oynadıkları maçların detaylı analizleri ile sonraki maçlarına hazırlanmaktadır. Bu noktada doğruluk oranı yüksek ve hızlı sonuç alınabilecek saha içi analizleri takımların oyun kalitesi olarak daha iyiye gitmelerini ve saha içerisinde gerçekleştirilen her türlü hareketin daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayacaktır.

Sunulan çalışmada, tek kamera ile çekilmiş olan futbol video görüntülerinden elde edilen karelerde belirlenen noktaların, bilgisayarla görü algoritmaları kullanılarak, dijital

kamera kalibrasyonu için perspektif dönüşüm matrisinin elemanlarını ve gerçek futbol sahasındaki konumunu tahmin eden bir matematiksel model yer almaktadır. Amaç, elde edilen son noktadaki konum bilgisi ile futbol saha içi analizlerinin hızlı bir şekilde yapılabilmesini sağlayacak bir ortam oluşturmaktır.

Anahtar kelimeler: Kamera kalibrasyonu, futbol, kare, algoritma, analiz, konum

ABSTRACT

CAMERA CALIBRATION FOR MATCH ANALYSIS FROM FOOTBALL BROADCASTING VIDEOS

Ramazan SEYFELİ

Master's Degree, Computer Animation and Game Technologies

Supervisor: Dr. Öğr. Ü. Serdar ARITAN

September 2022, 52 pages

Digital camera calibration provides the matrix required for position conversion using the positions of known points in the image frames. By using this matrix, the image frames are transformed into image frames that look at the field from the top at vertical angle, and thus a relationship can be established between the positions.

In-field analysis in football first converts all kinds of actions performed by the players on the field into data. These analyzes have a great importance in development of the deficiencies of the teams and football players by using the obtained data. Teams are preparing for their next matches with detailed analyzes of the matches they have played before. At this point, on-field analyzes with high accuracy and fast results will enable the teams to improve their game quality and to perform all kinds of movements in the field more efficiently.

In the presented study, there is a mathematical model that predicts the elements of the perspective transformation matrix for digital camera calibration and the position on the real football field of the points determined in the frames obtained from the football video images taken with a single camera, using computer vision algorithms. The aim is to create

an environment that will enable rapid on-field analysis of football with the location information at the last point obtained.

Keywords: Camera calibration, football, frame, algorithm, analysis, location

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, sadece bilimsel anlamda değil sahip olduğu eşsiz bilgisiyle hayatıma yön veren, desteğini benden esirgemeyerek her zaman yanımda olduğunu hissettiren değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Ü. Serdar ARITAN'a,

Hayatım boyunca her koşulda bana destek veren ve sabır gösteren, önceliklerini her zaman benim önceliklerime göre değiştiren ve bunun karşılığını hiçbir zaman tam olarak ödeyemeyeceğim, bugünlere gelmemde en büyük katkıları olan, bu hayatta hiç birşeye asla değişmeyeceğim canım aileme,

Sonsuz Teşekkürler...

Ramazan SEYFELİ

Eylül 2022, Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER.....	viii
ŞEKİLLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Video Teknolojileri	3
2.1.1. Dijital Video Sistemleri	3
2.2. Futbol Analizleri	4
2.2.1. Futbol Analizi İstatistikî Terimleri.....	4
2.2.2. Futbol Analizi Uygulamaları	5
2.2.3. Bilgisayarlı Futbol Analiz Sistemleri.....	6
2.3. Kamera Kalibrasyonu	12
2.3.1. Kamera Kalibrasyonu Gerekliiği	13
2.3.2. Kamera Kalibrasyonu Faktörleri	13
2.3.3. Kalibrasyon Nasıl Yapılır?	13
2.3.4. Zhegyou Zhang'in Kamera Kalibrasyon Yöntemi.....	14
2.3.5. Perspektif Dönüşümü.....	16
2.3.6. Lens Distorsiyonu	21
2.4. Kullanılan Programlar ve Kütüphaneler	22
2.4.1. OpenCV	22
2.4.2. NumPy Kütüphanesi.....	29
2.4.3. Photoshop	30
3. UYGULAMA	31
3.1. Video Görüntülerinin Resimlere Dönüştürölüp Filtreler Uygulanması.....	31
3.2. Saha Çizgileri ve Direkler Üzerinden Geçen Çizgilerin Tespit Edilmesi	34
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	44
4.1. Sonuçlar.....	44
4.2. Tartışmalar	44
4.2.1. Görüntü ve Video Birleştirme	46

4.2.2. Görüntü Sınıflandırması ve Derin Öğrenme	47
4.3. İnsan Hareketlerinin ve Saha Temas Noktalarının Tespiti.....	49
KAYNAKLAR.....	51

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. Görüntüler İçin Çalışma Zamanları.....	43
---	----

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Kamera Kalibrasyonu Yöntemi.	14
Şekil 2.2. Görüntü Düzlemi.	166
Şekil 2.3. T Matrisinin Gösterimi.	17
Şekil 2.4. wr Matrisinin Projeksiyonu.	18
Şekil 2.5. Lens Distorsiyonu Örnekleri.	21
Şekil 2.6. Polar Koordinat Sistemi.....	26
Şekil 2.7. Sinüzoid.	27
Şekil 2.8. Eğrilerin Kesişim Noktalarının Gösterimi.	27
Şekil 3.1. Kaynak Görüntü Karesi.	31
Şekil 3.2. HSV Renk Kodlarına Sahip Görüntü.	31
Şekil 3.3. Yeşil Rengin HSV Kodlu Görüntüden Maskelenmesi.	32
Şekil 3.4. Yeşil Renk Dışındaki Renklerin Maskelendiği Görüntü.	32
Şekil 3.5. Gri Tonlamalı Görüntü.	33
Şekil 3.6. Siyah Beyaz Görüntü.	33
Şekil 3.7. Siyah Beyaz Görüntüden Kenarların Elde Edilmesi.	34
Şekil 3.8. Saha Çizgilerinin Bulunması.	34
Şekil 3.9. Saha Çizgilerinin Sınıflandırılması.	35
Şekil 3.10. Yinelenen ve Benzer Saha Çizgilerinin Kaldırılması.	35
Şekil 3.11. Direkler Üzerinden Geçen Çizgilerin Bulunması.....	36
Şekil 3.12. Lens Distorsiyonunun Düzeltilmesi.	36
Şekil 3.13. Saha Çizgilerinin Siyah Renkle Siyah Beyaz Görüntüye Çizdirilmesi.	37
Şekil 3.14. Yay Üzerinden Geçen Bir Elip Bulunması.....	37
Şekil 3.15. Bütün Kesişim Noktalarının Bulunması.	38
Şekil 3.16. Ceza Sahası Dış Noktalarının Elde Edilmesi.	38
Şekil 3.17. Perspektif Dönüşümün Ceza Sahası Boyutları Oranında Uygulanması.....	39
Şekil 3.18. Perspektif Dönüşümün Tam Saha Boyutları Oranında Uygulanması.	39
Şekil 3.19. 2. Kaynak Görüntü.	40
Şekil 3.20. 2. Kaynak Görüntünün Perspektif Dönüşüm Sonucu.	40
Şekil 3.21. 3. Kaynak görüntü.	41
Şekil 3.22. 3. Kaynak Görüntünün Perspektif Dönüşüm Sonucu.	41
Şekil 3.23. 4. Kaynak Görüntü.	42
Şekil 3.24. 4. Kaynak Görüntünün Perspektif Dönüşüm Sonucu.	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CV_PI	Pi sayısı
G	Gradyan gücü

Kısaltmalar

2B	İki boyutlu
3B	Üç boyutlu
BGR	Mavi-Yeşil-Kırmızı renk paleti
HSV	Renk-Doygunluk-Parlaklık değerlerini içeren renk paleti
MMX	Çoklu veri seti mimarisi
RGB	Kırmızı-Yeşil-Mavi renk paleti
SSE	Çoklu veri komut seti uzantısı
xG	Gol beklentisi

1. GİRİŞ

Kamera rezeksiyonu olarak da adlandırılan geometrik kamera kalibrasyonu, bir görüntünün veya video kameranın bir lensinin ve görüntü sensörünün parametrelerini tahmin eder. Bu parametreler lens bozulmasını düzeltmek, bir nesnenin boyutunu dünya birimleri cinsinden ölçmek veya kameranın sahnedeki yerini belirlemek için kullanılabilir.

Kamera parametreleri, içsel, dışsal ve bozulma katsayılarını içerir. Kamera parametrelerini tahmin etmek için 3 boyutlu dünya noktalarına ve bunlara karşılık gelen 2 boyutlu görüntü noktalarına sahip olmak gerekmektedir.

Günümüzde futbolda veri analitiği önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Futbol kulüpleri, saha içinde ve dışında rekabet avantajı elde etmek istemektedir ve büyük çaplı veriler, oyuncu performansını iyileştirmek, sakatlıkları önlemek ve verimliliği artırmak için içgörüler elde edilmesini sağlamaktadır.

Dijital dönüşüm, zamanımızın en büyük dönüşümlerinden biridir. Bu dönüşüm tüm dünyayı etkilediği gibi daha küçük ölçekte incelendiğinde, futbolu da etkilemektedir. İlerleyen teknoloji ve dijitalleşme, ölçüm cihazlarında, veri toplamada ve veri hacimlerinde hızlı bir artışa yol açmıştır. Son yıllarda, performans ve maç verilerinin toplanması, analizi, yorumlanması ve pazarlanmasına yönelik futbol analizini kapsayan ayrı bir endüstri oluşmuştur.

Çalışma kapsamında kullanılmak üzere futbol maçı videoları temin edilmiştir. Bu videolardan elde edilen görüntü karelerinin bilgisayarla görü algoritmaları ile kullanılıp kaynak görüntü üzerinde belirlenmiş herhangi bir noktanın (örneğin futbolcu pozisyonu) gerçek saha koordinatlarının bulunması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, kamera kalibrasyonun ve futbol analizinin genel tanımları, futbol analizi uygulamaları ve kamera kalibrasyonu ile ilgili yöntemler açıklanmıştır. Ayrıca uygulamada kullanılan programlar ve fonksiyonlar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde ise, Üçüncü bölümde ise, futbol saha için görüntü kareleri

ve bu görüntü karelerinin kullanılarak aşama aşama elde edilen diğer görüntü karelerine yer verilmiştir. Çalışmanın dördüncü ve son bölümünü oluşturan bölümde ise elde edilen sonuçlara değinilip yapılabilecek ileri dönem çalışmalara değinilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Video Teknolojileri

Son yıllarda analog ve daha yakın zamanlarda dijital video teknolojisi, maç analizi sürecinin çehresini değiştirmiştir. Video, dünya kulüplerdeki antrenörler tarafından daha pratik bir temelde oyuncu ve takım özelinde futbol performansını analiz etmek için uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Video, 1980'lerde profesyonel futbolda hareket analizini incelemek için bir araç olarak da kullanılmıştır. Bu maç analizi çalışmaları, oynatmayı kontrol etmek ve görüntüleri görselleştirmek için bir video kaset kaydedici ve bir televizyon monitörü kullanılarak performansın gözlemlenmesini içermiştir.

Yıllar boyunca, birçok antrenör, tekniği kırmak (örneğin, oyuncuların şut çekerken geriye yaslanması gibi sorunları tespit etmek) veya oyuncuların davranışlarına bakmak (örneğin, olumsuz vücut dili) için videoyu kullanmıştır. Günümüzde, neredeyse her modern bilgisayarlı maç analiz sistemi, performansı kodlamak ve sunmak için temel olarak videoyu kullanmaktadır (Anonim, 2022).

Videonun yaygın olarak kullanılma sebebi, performansı kaydetmek, gözlemlmek, analiz etmek, değerlendirmek ve kontrol etmek için iyi bir araç olmasıdır. Dijital videonun son gelişimi, performans analizinde yer alan bu adımları büyük ölçüde geliştirmiştir (Anonim, 2022).

2.1.1. Dijital Video Sistemleri

Çoğu dijital video düzenleme sistemi ayrıca istatistiksel maç eylemi kodlaması sağlar ve "hepsi bir arada" paketler olarak satılır. Ancak, yalnızca özel maç video düzenleme araçları sağlamaya odaklanan farklı yazılım programları da mevcuttur. Tüm bu sistemler, maç performansının daha sonraki erişimini, düzenlenmesini ve görselleştirilmesini kolaylaştırmak için çeşitli eylemlerin tam anını kaydetmek için dijital bir zaman kodu kullanır. Bunlar, şu anda üst düzey futbolda kullanılan son derece güçlü geri bildirim araçlarıdır (Anonim, 2022).

2.2. Futbol Analizleri

Yazılımcılar tarafından yazılmış uygulamalar ile saha içerisindeki görüntülerden başta oyuncuların ve topun konum verileri başta olmak üzere çeşitli veriler elde edilmektedir. Bu veri setini futbol analistleri kullanmaktadır. Bir futbol analisti, oyun ve oyuncular hakkında içgörüler sağlamak için bir sporcunun veya takımın istatistiklerini araştırır ve inceler.

Futbol analizleri, oyuncuların ve topun konum verileri, oyuncuların koşu mesafeleri, çekilen isabetli ve isabetsiz şut sayıları, takımların topa sahip olma oranları, oyuncuların sahadaki ısı haritaları, topun oyunda kaldığı süre, bir takımın gol beklentisi vb. verileri içermektedir. Futbol analistleri, bu verileri kullanıp görselleştirerek başta takımların teknik direktörüne bunları sunmaktadır. Bu veriler ile teknik direktörler ve antrenörler kendi takımındaki oyuncuların performansını görüp saha içerisindeki rolüne göre (aynı rolde oynayan diğer takım oyuncularının da analizinin yapılması o rol için ortalama performans değerleri ortaya çıkmaktadır) geliştirmesi gereken alanları görmektedirler. Ayrıca rakip takım için de benzer analizler yapıldığı için kendi takımlarına tehdit oluşturacak oyuncular hakkında bilgi sahibi olacaklardır ve buna göre saha içerisine önlem alma şansları olacaktır.

2.2.1. Futbol Analizi İstatistik Terimleri

Futbol için yapılan analizlerde birçok istatistik terimleri yer almaktadır. Bunlar:

- Gol: Golü atan takım tarafından herhangi bir ihlal yapılmamış olması koşuluyla, topun tamamı kale çizgisini, kale direkleri arasından ve üst direğin altından geçtiğinde gol olur. Kaleci topu doğrudan rakibin kalesine atarsa, gol olmaz ve kale vuruşu verilir.
- Şut: Gol atma amacıyla topa vurmaktır.
- Pas: Topu oyun alanında ilerletmek veya geriletmek amacıyla aynı takım içerisinde farklı oyuncular arasında topa vurarak topu birbirine göndererek topa sahip olmayı amaçlamaya çalışmaktır.
- İsbetli Pas Yüzdesi: Gerçekleştirilen pasların aynı takım içerisindeki bir oyuncuya ulaşma sayısının toplam pas sayısına oranıdır.
- Orta: Hücum eden takımların oyuncularının ayakları veya kafaları ile daha kolay gol atma şansına sahip olan aynı takımdan başka bir oyuncuya topu havadan göndermektir.

- Korner: Köşe vuruşu, topun savunma yapan takımın bir oyuncusuna temas ettiğinde ve topun tamamının kale çizgisini, yerden veya havada geçtiği zaman hücum eden takıma verilen bir duran toptur.
- Top Kapma: Topa sahip olan rakip takım oyuncusundan topu alma amacıyla yapılan müdahaledir. Bu müdahale sonrasında top kapılırsa top kapma sayısı olarak istatistiklere geçer.
- Hava Topu Kazanma Oranı: Bir takımın oyuncularının havadan gelen toplarda rakibinden önce topa sahip olma oranıdır.
- Topa Sahip Olma Oranı: Bu oran, bir takımın maç sırasında topu kontrol ettiği sürenin topun toplam oyunda kalma süresine oranını vermektedir.
- xG: Futbolda xG terimi, gol beklentisi anlamına gelir. Gol şansının kalitesinin ve gol olma olasılığının istatistiksel bir ölçümüdür.
- Rakip Ceza Sahasında Topla Buluşma: Bir takımın oyuncularının rakip takımın ceza sahası alanı içerisinde top ile toplam buluşma sayısıdır.
- Top Sürme: Topa sahip olan takımın oyuncularının topu ayakları veya kafaları ile hareket ettirerek, ilerledikleri yönde karşılarına çıkmış olan rakip takım oyuncularını top ile beraber mesafe kat ederek pozisyon olarak kendilerinden geride bırakma sayısıdır.

2.2.2. Futbol Analizi Uygulamaları

2.2.2.1. Akıllı Gözlemcilik

Büyük ve ayrıntılı veritabanlarında oyuncu arama kulüplerin inanılmaz miktarda zaman ve para tasarrufu yapmalarını sağlar. Veritabanlarında gezinme genellikle sezgisel olmayan sonuçlara yol açar. Bazı durumlarda, bunlar yanlış pozitifler olabilir (Anonim, 2022).

2.2.2.2. Performans Analizi

Futbol kulüpleri, medya ve hatta taraftarlarla birlikte, veri desteği ile, bir takımın veya oyuncunun bir maçta veya sezon boyunca nasıl performans gösterdiğini kolayca anlayabilirler. Hatta en temel şut sayısı, isabetli şut sayısı ve topa sahip olma gibi istatistikler, eksik de olsa, iki takımın nasıl çalıştığına dair bir rehber sunabilir ve takımların performanslarının maç sonucu ile ilişkili olup olmadığını ortaya koyabilir (Anonim, 2022).

2.2.2.3.Oyuncu Gelişimi

Genç oyuncu gelişimi söz konusu olduğunda veri analitiğinin önemi de artmaktadır. Nedeni basittir: Objektif ve ölçülebilir geri bildirimde sahip olmak hem antrenörlerin hem de oyuncuların öğrenme süreçlerini hızlandırmasına ve doğru gelişim döngüleri oluşturmaya yardımcı olabilir. Temel olarak, veri analitiği, oyuncuların potansiyelini tahmin etmeye ve geliştirmeye yardımcı olan bir araç haline gelir (Anonim, 2022).

2.2.2.4. Sakatlık Önleme

Günümüzde, herhangi bir üst düzey kulüp, oyuncuların pozisyonunu sürekli olarak izlerken, GPS ile hız takibi, oyuncuların “harici yükünü”, yani sahada yapılan iş miktarını, nesnel olarak ölçmelerine olanak tanır. GPS aracılığıyla yapılan harici yük takibi, profesyonel oyuncuların yaralanma riskini tahmin etmek için de kullanılabilir. Araştırmacılar, en büyük yaralanma riskinin, oyuncuların üç haftalık bir süre boyunca antrenman sırasında çok yüksek sayıda kısa hız patlamaları gerçekleştirdiği zaman meydana geldiğini keşfetmiştir (Anonim, 2022).

2.2.3. Bilgisayarlı Futbol Analiz Sistemleri

Bilgisayarlar, futbol analizi sürecine iki önemli düzeyde yardımcı olmaktadır. Bunlar veri girişi ve çıkışıdır. Veri girişi, paslar veya şutlar gibi maç verilerinin girilmesi veya kodlanması için kullanılan gerçek yöntemleri içerirken, veri çıkışı ise bu verilerin işlenmesini ve sunulmasını içerir.

Bilgisayarlı sistemlerin manuel analize göre avantajları şu şekilde sıralanabilir (Anonim, 2022):

- Kullanıcı dostu bilgisayar arayüzleri ve ses tanıma veya dokunmatik yüzeyler gibi gelişmiş giriş araçları sayesinde öğrenme süresi genellikle daha hızlıdır ve veri girişi daha kolaydır.
- Bu sistemler otomatik olarak bireysel oyuncular için ve takım için güçlü ve zayıf yönler hakkında yararlı göstergeler sağlayabilir ve özel olarak uyarlanmış eğitim yöntemleri önermeye yardımcı olabilir.
- Maç performansının tüm yönleri hakkında daha fazla ayrıntı ve daha doğru bilgi sağlamak ve performansın gelişmiş istatistiksel analizine izin vermek için kullanılabilir.

- İstatistiklerin maç videosuyla birleştirilmesine izin vererek, saha içerisindeki herhangi bir belirli eylemin veya anın anında erişime ve görselleştirilmesine izin verir. Bu maç performansının daha hızlı ve daha iyi değerlendirilmesine ve anlaşılmasına yol açar.
- Herhangi bir tanımlanmış zaman periyodunda trend analizi için geçmiş performansların büyük veritabanları oluşturulabilir.
- Son derece hızlı, ilgili ve nesnel geri bildirim sağlamak için kullanılabilirler. Veri işleme artık yalnızca saniyeler almaktadır. Bu tür sistemler, grafikler veya tablolar gibi her türlü anlaşılması kolay veri sunumu sağlar.

Ancak, en modern bilgisayarlı sistemlerin bile bazı dezavantajları olabilir ve antrenörler bunların farkında olmalıdır. Bu dezavantajlar şu şekildedir (Anonim, 2022):

- Fiyatlar bir engel olabilir. Futbolda alt seviye takımlarda yer alan antrenörler en iyi sistemleri veya video ekipmanı satın alamayabilir.
- Ekipman ve yazılımın kurulumu ve kullanımı, özellikle modern görsel-ışitsel ve bilgisayar teknolojileri konusunda sınırlı bilgiye sahip antrenörler için ilk etapta zorlayıcı olabilir.
- Veri girişi hataları ve kayıpları, zayıf veya karmaşık sistem tasarımlarının bir sonucu olarak ortaya çıkabilir. Sistem yalnızca kullanıcı kadar iyidir ve bunun tersi de geçerlidir.
- Geri bildirim, sistemin neyi analiz edebileceği ve maç sonrasında verilerin ne kadar hızlı sağlanabileceği ile sınırlı olabilir. Ayrıca, antrenör ekibi, belirli maç eylemlerini tanımlamak için kullanılan verilerle aynı fikirde olmayabilir.
- Profesyonel futbolda performans verileri genellikle kulüpler tarafından bilimsel araştırma veya deney için toplanmaz. Bu verilerin pratik olması ve sahaya doğru bir şekilde aktarılması gerekir. Modern sistemler genellikle çok fazla bilgi veya alakasız bilgi sağlayabilir. Verileri değerlendirirken, antrenörler, özellikle modern sistemler tarafından sağlanan büyük miktarda bilginin bir sonucu olarak, mevcut olmayan sorunları da arayabilirler. Maç performansının bir alanında hafif düşüş gösteren bir oyuncu hemen yargılanmamalıdır; daha fazla analiz ve değerlendirme gerekli olabilir.

- Oyuncular, sistemlerin performanslarını çok sık ve çok fazla incelediğini hissedebilir. Bir antrenör oyuncularla çalışırken maç analizinin kullanımı son derece hassas bir konu olabilir.

Sonuç olarak, antrenör ve oyuncular arasında etkili ve optimum bir iletişim kanalı oluşturmaya yardımcı olarak performans, gözlem, analiz ve değerlendirme arasındaki boşluğu kapatmak için bilgisayar ve video futbol analiz sistemleri kullanılmaktadır (Anonim, 2022).

2.2.3.1. Bilgisayarlı Futbol Analiz Sistemlerinin Tarihçesi

Son 30-40 yılda, piyasada her biri farklı ve sıklıkla geliştirilmiş kullanılabilirlik ve veri seviyeleri sunan çeşitli bilgisayarlı futbol analiz sistemleri ortaya çıkmıştır. İlk sistemler çoğu üniversitelerde çeşitli araştırma projeleri olarak geliştirilmiştir ve son yıllarda kullanımları kulüplere yayılmıştır.

Bu ilk sistemlerin sıklıkla kullanılmasının sebepleri olarak aşağıdaki maddeler sıralanabilir (Anonim, 2022).:

- Bilgisayarların işleme gücünde büyük artışlar meydana gelmiştir ve büyük ölçüde geliştirilmiş görsel-işitsel ekipman sunulmaktadır.
- Çok daha iyi programlama araçları mevcuttur ve dolayısıyla daha iyi yazılım performansı ortaya çıkmaktadır (örneğin güvenilirlik ve hız açısından). Hem yazılım hem de donanımın genel ergonomik tasarımı büyük ölçüde iyileşmiştir.
- Donanım güvenilirliği gelişmiştir ve genel olarak daha iyi taşınabilirlik sağlanmıştır.
- Modern antrenörler, yazılım geliştirme şirketleri ve spor bilimcileri arasında artan iletişim gerçekleşmiştir. Bu, futbol antrenörlerinin pratik ve özel ihtiyaçlarının bilgisayar ortamına daha iyi tercüme edilmesini sağlamıştır.

Teknoloji sürekli olarak değiştiği ve geliştiği için, antrenörlerin modern son nesil maç analiz sistemlerine ve bu sistemlerin ne tür bilgiler sağlayabileceklerine aşina olmaları önemlidir (Anonim, 2022)..

Modern sistemler gerçek zamanlı ya da maç sonrası olarak çalışmaktadır. Gerçek zamanlı analiz, olaylar geliştikçe maçın "canlı" olarak analiz edilmesini sağlar. Veriler, antrenörün maç sırasında, devre arasında veya oyundan sonra anında geri bildirim için kullanması

için anında kullanılabilir. Gerçek zamanlı olarak çalışan bir maç analisti, ya "canlı" bir video kaydı yoluyla ya da sadece maçı tribünlerden izleyerek performansı analiz edebilir (Anonim, 2022)..

Maç sonrası sistemler, maçın bittikten sonra analiz edilmesidir. Bu tür bir analiz, veri girişi için bir video kaydının kullanılmasını gerektirir. Maç sonrası analizin avantajı, görüntülerin birden fazla kez oynatılabilmesi veya yavaşlatılabilmesidir. Herhangi bir şüphe veya hata analist tarafından kolayca düzeltilebilir (Anonim, 2022)..

Oyuncu hareketlerini takip etmeyen video ve istatistik tabanlı analiz sistemleri, gerçek zamanlı veya maç sonrası olarak kullanılabilir. Elektronik oyuncu takip sistemleri genellikle gerçek zamanlı analizlere dayanırken, bilgisayarlı takip sistemleri maç sonrası içindir. Ancak, yalnızca bir veya iki oyuncu izleniyorsa, gerçek zamanlı analiz mümkündür (Anonim, 2022).

2.2.3.2. Video Tabanlı İstatistiksel Analiz Sistemleri

Video tabanlı istatistiksel analiz, belki de tüm günümüz sistemlerinin en basiti olarak tanımlanabilir. Bilgiler dört faktöre dayanmaktadır: oyuncu, pozisyon, zaman ve eylem. Maç, dijital veya analog bir kamera kullanılarak kaydedilir ve görüntüler bir bilgisayara aktarılır. Genel olarak, analist oyuncunun adını girer (bir listeye tıklayarak), oyuncunun pozisyonunu grafik olarak temsil edilen bir sahada tıklar ve gerçekleştirilen hareketin türünü girer (örn. pas, şut, müdahale). Sisteme bağlı olarak bu analiz gerçek zamanlı veya maç sonrası yapılabilir. Analist stadyumda maçı gerçek zamanlı olarak kodlayabildiğinden, bazı sistemler kayıtları kullanmayabilir. Ancak, bunu yapmak yalnızca istatistiksel bilgi sağlayacaktır. Çoğu modern sistem, zaman kodunun avantajına sahip olan ve zaman girişini otomatik hale getiren dijital video kayıtları kullanır. Kayıt oynatılırken, analist çeşitli eylemleri girer ve bilgisayar otomatik olarak maçın gerçekleştiği zamanı tam olarak kaydeder. Bu eylemlere daha sonra bir düğme tıklamasıyla doğrudan erişilebilir ve görselleştirilebilir (Anonim, 2022).

Video ile bağlantılı olarak zaman, oyuncu adları ve eylemler girilerek, video düzenlemeden bir dizi maç özeti elde edilebilir. Örneğin, antrenörler, şutla sonuçlanan tüm hücum hareketlerinin sayısallaştırılmış bir videosunu kesip bir araya getirebilir ve belirli bir oyuncunun topla yaptığı her hareketi veya topun her kaybedildiği zaman

inceleyebilir. Bu süreç, aradıkları belirli bilgileri seçebilecekleri, çıkarabilecekleri ve görselleştirebilecekleri anlamına gelir. Maç hareketleriyle ilgili diğer veriler, tablolar ve grafikler gibi farklı formatlarda sunulabilir (Anonim, 2022).

Video tabanlı istatistiksel sistemlerin belirli sınırlamaları da vardır. Oyuncu eylemlerinin saha pozisyonları, oyun alanını temsil eden şematik bir sahaya basitçe tıklanarak belirlenir. Bu prosedür, bir dereceye kadar, hatalı konumsal verilerin üretilmesine yol açacaktır. Ayrıca, kullanılan video genellikle bir kamera bakış açısıyla sınırlı olduğundan, performans analizi yalnızca topa sahip olan oyuncu ve topun etrafındaki oyuncularla sınırlıdır. Aksiyon tekrarlarının meydana gelmesi nedeniyle televizyon görüntüleri kullanılırsa başka sorunlar da vardır. Tekrar oynatılırken, izleyici devam eden maç oyununu analiz edemez ve muhtemelen birkaç eylemi kaçıracaktır (Anonim, 2022).

2.2.3.3. Oyuncu Takip Sistemleri

2.2.3.3.1. Video Tabanlı Oyuncu Takip Sistemleri

Son nesil kamera, video ve bilgisayar teknolojisini kullanan oyuncu takip sistemleri, futbolda yaygındır. Bu sistemler, tüm sahayı kapsayacak şekilde dikkatlice konumlandırılmış birkaç kameranın kurulumunu gerektirir, böylece sahadaki konumu ve zaman içinde ne olursa olsun her oyuncu her zaman videoya kaydedilir. Karmaşık trigonometri, matematiksel algoritmalar ve dijital video/görüntü işleme teknikleri kullanılarak her oyuncunun konumu ve hareketi oyunun her anında hesaplanabilir ve izlenebilir. İlk olarak 1996 yılında geliştirilen AMISCO sistemi, öncü oyuncu takip sistemiydi. Bu sistem 90 dakika boyunca tüm oyuncuların, hakemin ve topun hareketlerini saniyede on ila yirmi beş kez analiz eder. Sonuç, her maç için yaklaşık 4.5 milyon pozisyon ve 2.500 top dokunuşu içeren bir veri tabanıdır. Sistem tasarımı oldukça karmaşık olsa da işleyişi şu şekilde özetlenebilir (Anonim, 2022):

1. Tüm sahayı kapsamak için kameraların sayısını ve optimum konumlarını hesaplamak için özel olarak tasarlanmış bir program kullanılarak stadyuma kalıcı olarak bir çoklu kamera sistemi kurulur. Kameraların sayısı ve konumları, sahanın büyüklüğü ve stadyumun yapısı gibi faktörlere bağlıdır.
2. Stadyum ve saha bilgileri kalibre edilir (yükseklik, uzunluk, genişlik) ve kamera bakış açılarından oyuncu pozisyonlarının hesaplanmasına izin vermek için iki boyutlu bir modele dönüştürülür.

3. Maçın başında, oyuncular ilk olarak analist tarafından belirlenir. Oyuncular daha sonra görüntü işleme teknikleri kullanılarak sistem tarafından yarı otomatik olarak izlenir (özellikle set parçaları sırasında bir operatörden bazı manuel girdiler gereklidir). Daha sonra her oyuncunun hareketlerini tanımlamak ve yeniden oluşturmak için "ham oyuncu yörüngelerinin" bir birleşimi gerçekleştirilir.
4. Bu konum verilerinin ayrıca bilgisayar tarafından otomatik olarak hesaplanamayan çeşitli maç hareketlerini (örneğin kırmızı kartlar, ofsaytlar, müdahaleler) ayrı ayrı kodlayan başka bir analist tarafından tamamlanması gerekir. Normal video tabanlı sistemlerde olduğu gibi, bu eylemlerin girişi gerçek zamanlı olarak veya maç sonrasında gerçekleştirilebilir.
5. Veriler kaydedildikçe, analiz ve hazırlık için otomatik olarak ve aşamalı olarak bir veri tabanına yüklenir. Bilgisayar diski, oyunun iki boyutlu olarak tam olarak yeniden yapılandırılmasına ve ayrıca her oyuncunun ayrıntılı bir taktik ve fiziksel performans analizine izin veren özel bir yazılım içerir.

Bu tür bir oyuncu takip sisteminin olumlu bir faktörü, oyuncuların şimdiye kadar tüm futbol otoriteleri tarafından yasaklanmış olan bir elektronik etiket ile donatılmasının gerekmemesidir. Bununla birlikte, video tabanlı izleme sistemleri geliştirmedeki zorluk, kameraların optimum konumlarını bulmakta ve karmaşık bilgisayar ve matematiksel teknikler kullanarak birçok hareketli nesneyi doğru bir şekilde izlemekte yatmaktadır. Örneğin, bir köşe vuruşu sırasında ceza sahasında yirmi oyuncu olabilir ve sistem, bilgisayarın oyuncuları tanımlamasına yardımcı olmak için bir maç analistinden manuel giriş gerektirecektir (Anonim, 2022).

2.2.3.3.2. Elektronik Takip Sistemleri

Elektronik takip sistemleri, sporun bilgisayarlı analizinin geleceği olarak tanımlanabilir ve maç analizini zaman ve doğruluk açısından bir adım öteye taşımaktadır. Bu sistemler (askeri radar algılama ve füze izleme teknolojisine dayalı) gerçek zamanlı veri toplama ve analizine izin verir ve saniyede birkaç yüz defaya kadar performans faktörlerini kaydedebilir. Bu sistemin çalışma şekli aşağıdaki gibidir (Anonim, 2022).:

1. Oyuncunun dizliğine veya formasına entegre edilmiş küçük ve çok hafif bir mikroçip vericisi kullanılır ve topun içinde de bir mikroçip vardır. Hareket yönünü, adımların sıklığını ve adım uzunluğunu belirleyebilmek için her oyuncu en az iki verici taşır.

2. Oyuncu ve topla ilgili konumsal veriler, santimetre aralığında aynı anda ve saniyede 200 defaya kadar üç boyutlu olarak tespit edilir ve değerlendirilir. Vericinin tanımlama sinyali, birkaç anten tarafından bir saniyenin çok kısa bir bölümünde kaydedilir (sinyalin alıcıya alınma süresi senkronize edilir ve bunun sonucunda konum belirlenir). Bu antenler, oyun alanının çevresinde ve dışında çeşitli yüksekliklerde konumlandırılmıştır.
3. Bu bilgiler daha sonra özel yazılımlar kullanılarak gerçek zamanlı olarak işlenmek üzere merkezi bilgisayara iletilir ve anlamlı bir sunuma dönüştürülür (örneğin maç rekonstrüksiyonları, grafikler, tablolar).

Bu sistemlerin video tabanlı sistemlere göre birkaç önemli avantajı vardır. İlk olarak, analiz (her oyuncunun) ve veri işleme gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilir, yani oyun sırasında herhangi bir zamanda performans değerlendirmesi yapılabilir. İkincisi, verilerin daha doğru olması olasıdır (birkaç santimetreye kadar). Üçüncüsü, oyuncuların hareketleri ve pozisyonları saniyede birkaç yüz kez analiz edilerek, oyuncu ivmeleri ve yön değişiklikleri hakkında oldukça ayrıntılı ve önceden mevcut olmayan bilgilerin üretilmesine yol açar (Anonim, 2022).

2.3. Kamera Kalibrasyonu

Kamera kalibrasyonu, dış faktörler dolayısı ile bozulmuş olan görüntünün düzeltilerek görüntü işlemeye hazır hale getirilmesi işlemidir.

Kamera kalibrasyonu, görüntü oluşturma sürecinin geometrik parametrelerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu, özellikle sahne hakkında metrik bilgi gerektiğinde çok önemli bir adımdır. Bu uygulamalarda, kamera genellikle bir dizi içsel parametre (odak uzaklığı, ana nokta, eksen eğriliği) ile modellenir ve yönelimi dışsal parametrelerle (döndürme ve öteleme) ifade edilir. Hem içsel hem de dışsal parametreler, gerçek dünyada bilinen noktalar ve bunların görüntü düzlemindeki projeksiyonları kullanılarak doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemlerle tahmin edilir. Bu noktalar genellikle geometrisi bilinen, genellikle düz bir satranç tahtası olan bir kalibrasyon modeli olarak sunulur (Laureano & Coelho, 2015).

Birçok çalışma kamera kalibrasyon alanına dikkat çekmiştir, bunların çoğu parametrelerin tahmin aşamasına ve kalibrasyon noktalarının iyileştirme konumuna adanmıştır.

Kamera kalibrasyonu, mobil robot navigasyonu, makine vizyonu, biyomedikal, görsel gözetim gibi alanlarda kullanılmaktadır (Qi, Li, & Zhenzhong, 2010).

2.3.1. Kamera Kalibrasyonu Gerekliliği

Kamera kalibrasyonu yapılmadan gerçekleştirilen görüntü işleme ve görüntü analiz aşamaları hata içermektedir.

2.3.2. Kamera Kalibrasyonu Faktörleri

Öncelikle, kamera kalibrasyonu, görüntüleme sürecini etkileyen kameranın içindeki miktarları bulmakla ilgilidir.

Görüntü merkezi: Görüntü merkezinin konumunu görüntüde bulunması gerekmektedir. Görüntünün merkezi genişlik/2, yükseklik/2 olarak bilinse de kalibrasyon yapılmadıkça, görüntü neredeyse her zaman merkezin dışında görünecektir.

Ölçekleme faktörleri: Satır pikselleri ve sütun pikselleri için ölçekleme faktörleri farklı olabilir. Bu işle ilgilenilmezse, görüntü uzatılmış (yatay veya dikey) görünecektir.

Eğim faktörü: Bu, kesme anlamına gelir. Aksi takdirde görüntü paralelkenar gibi görünecektir.

Lens bozulması: Bu, herhangi bir görüntünün merkezine yakın bir yerde gördüğümüz sözde yakınlaştırma efektini ifade eder.

2.3.3. Kalibrasyon Nasıl Yapılır?

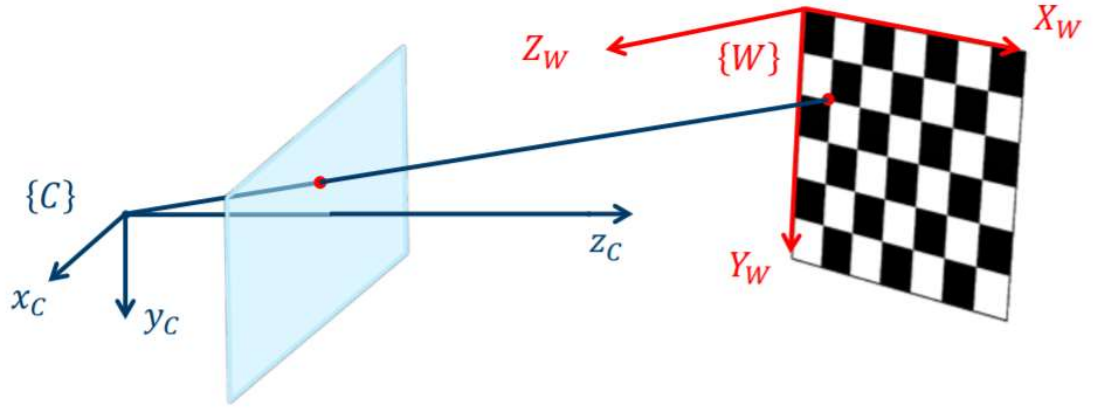
Kalibrasyonun arkasındaki temel fikir, bir dizi noktanın bilinen koordinatlarını ve projeksiyonlarını bağlayan projeksiyon denklemlerini yazmak ve kamera parametrelerini çözmektir. Bazı noktaların koordinatlarını tanımak için kamera kalibrasyon yöntemleri bir kalibrasyon deseninin (muhtemelen uzayda bilinen bir konumda bulunan ve doğru bir

şekilde yerleştirilebilen görüntü özellikleri üreten, bilinen geometriye sahip bir cisim) bir veya daha fazla görüntüsüne dayanır (Suliman, Puiu, & Moldoveanu, 2009).

İğne deliği kamera modeli olarak da bilinen perspektif kamera modeli iki aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar:

- Dünya ve görüntü koordinatlarını birbirine bağlayarak projeksiyon matrisinin tahmini,
- Projeksiyon matrisinin girişlerinin kapalı form fonksiyonları olarak kamera parametrelerinin hesaplanmasıdır (Suliman, Puiu, & Moldoveanu, 2009).

2.3.4. Zhegyou Zhang'in Kamera Kalibrasyon Yöntemi



Şekil 2.1. Kamera Kalibrasyonu Yöntemi.

Bu kalibrasyon algoritması, asimetrik bir satranç tahtasının birden fazla görüntüsünü kullanır. Zhang'ın yöntemi, kalibrasyon nesnesinin düzlemsel olmasını gerektirir. Daha sonra 3D-2D ilişkisi bir homografi ile tanımlanır (Zhang, 1998).

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & r_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Bu gözlem, R değerinin ortonormal olması nedeniyle iç parametrelere 2 kısıtlama koyar.

$$r_1^T r_2 = 0$$

$$r_1^T r_1 = r_2^T r_2$$

$$h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 = 0$$

$$h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 = h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2$$

$$H = [h_1^T \quad h_2^T \quad h_3^T]$$

$$K^{-T} = (K^T)^{-1} = (K^{-1})^T$$

$$B = K^{-T} K^{-1}$$

Yani her bir 3B-2B uygunluğu için yukarıdaki B matrisi şeklinde 2 kısıt elde edilir. Sonraki adım, B'yi hesaplamak için bilinmeyen parametreleri izole etmektir. B, K'dan direkt olarak hesaplanabilir (Zhang, 1998).

$$B = K^{-T} K^{-1} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{f_u^2} & -\frac{s}{f_u^2 f_v} & \frac{v_0 s - u_0 f_y}{f_u^2 f_v} \\ -\frac{s}{f_u^2 f_v} & \frac{s^2}{f_u^2 f_v^2} + \frac{1}{f_v^2} & \frac{s(v_0 s - u_0 f_y)}{f_u^2 f_v^2} - \frac{v_0}{f_v^2} \\ \frac{v_0 s - u_0 f_y}{f_u^2 f_v} & \frac{s(v_0 s - u_0 f_y)}{f_u^2 f_v^2} - \frac{v_0}{f_v^2} & \frac{(v_0 s - u_0 f_y)^2}{f_u^2 f_v^2} + \frac{v_0^2}{f_v^2} + 1 \end{bmatrix}$$

B'nin simetrik olduğu görülmektedir, böylece o parametre vektörüyle temsil edilebilir.

$$b = [b_{11} \quad b_{12} \quad b_{22} \quad b_{13} \quad b_{23} \quad b_{33}]^T$$

$$v_{ij} = \begin{bmatrix} h_{i1} h_{j1} \\ h_{i1} h_{j2} + h_{i2} h_{j1} \\ h_{i2} h_{j2} \\ h_{i3} h_{j1} + h_{i1} h_{j3} \\ h_{i3} h_{j2} + h_{i2} h_{j3} \\ h_{i3} h_{j3} \end{bmatrix}$$

$$h_i^T B h_j = v_{ij}^T b$$

$$r_1^T r_2 = 0$$

$$r_1^T r_1 = r_2^T r_2$$

$$h_1^T B h_2 = 0$$

$$h_1^T B h_1 = h_2^T B h_2$$

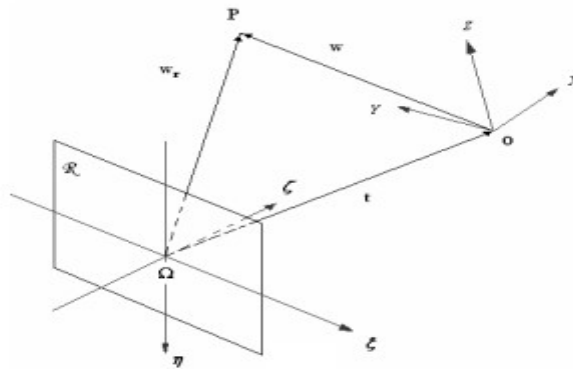
$$\begin{bmatrix} v_{12}^T \\ v_{11}^T - v_{22}^T \end{bmatrix} b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Düzlemsel kalibrasyon nesnesinin n adet görüntüsü verildiğinde ve $n \geq 3$ olduğunda denklemler tekil değer ayrıştırması ile çözülebilen homojen bir doğrusal denklem sistemi elde etmek için yığılır. Tahmin edilen b değerinden tüm içsel parametreler kurtarılabilir. Bozulma katsayıları daha sonra doğrusal bir en küçük kareler problemini çözerek tahmin edilir. Son olarak, tüm parametreler yinelemeli olarak iyileştirilir (Zhang, 1998).

2.3.5. Perspektif Dönüşümü

Perspektif dönüşüm, başka bir görünümde karşılık gelen konumları bulmak için perspektif dönüşüm (homografi) matrisini bir görünümdeki noktalarla çarparak, aynı sahnenin bir görünümünden başka bir görünümüne geçirilmesidir (Lee, 2022).

Bir perspektif dönüşümü aracılığıyla, geometrik uzaydaki bir noktayı, "görüntü düzlemi" olarak adlandırılacak olan bir düzlemdeki bir noktayla ilişkilendirmek mümkündür. Bu, noktanın kendisi ile görüntü düzlemi arasındaki mesafeye bağlı olan bir ölçek faktörü kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 2.2. Görüntü Düzlemi.

Şekil 2.2 incelendiğinde, O, x, y, z çerçevesindeki P noktasının konumu w vektörü tarafından verilirken, Ω, ξ, η, ζ çerçevesindeki aynı konum w_r vektörü ve görüntü

tarafından verilir. Düzlem R ile gösterilir; bu, basit olması adına, ξ , η düzlemi ile çakışık olmalıdır. Bu vektörler aşağıdaki denklemlerle birleştirilir (Niola, Rossi, & Savino, 2006):

$$\begin{pmatrix} w_{r,x} \\ w_{r,y} \\ w_{r,z} \\ sf \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & t_{\xi} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & t_{\eta} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & t_{\zeta} \\ 0 & 0 & 0 & sf \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} w_x \\ w_y \\ w_z \\ sf \end{pmatrix}$$

Burada sf ölçek faktörüdür; bu denklem kısaca aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$w_r = T \cdot w^{\sim}$$

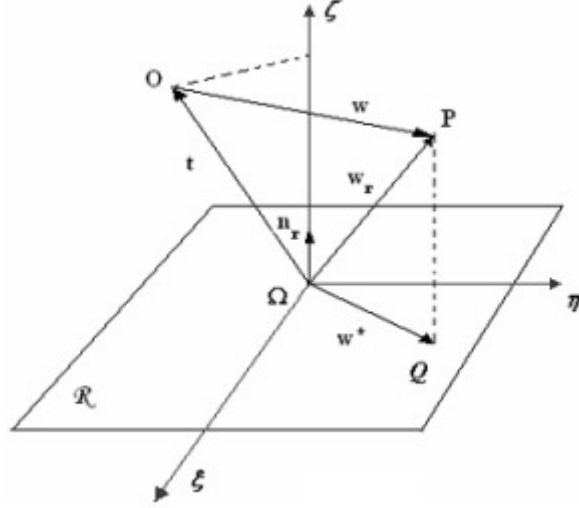
Burada tilde (\sim), vektörlerin homojen koordinatlarda ifade edildiğini gösterir. T matrisi, aşağıdaki şablona göre yapılandırılmış genel bir dönüşüm matrisidir:

Dönme Matrisi	Konum Vektörü
Perspektif	Ölçek

Şekil 2.3. T Matrisinin Gösterimi.

Ölçek faktörü hemen hemen her zaman 1 olmaktadır ve kameraları modelleme dışında perspektif kısmı tamamen sıfır olacaktır. T matrisinin dördüncü satırı üç sıfır içerir; bu sıfırların anlamı, perspektif dönüşüm vasıtasıyla, genellikle sıfırdan farklı olan üç değer belirlenecek olmasıdır.

Şekil 2.4 incelendiğinde, w^* vektörü, w_r vektörünün ξ , η düzlemindeki izdüşümünü temsil etmektedir (Niola, Rossi, & Savino, 2006).



Şekil 2.4. w_r Matrisinin Projeksiyonu.

Görüntü düzlemindeki P noktasının koordinatları w_r vektöründen elde edilebilir, aslında bu koordinatlar w^* koordinatlarıdır ve şu şekilde elde edilebilir:

R matrisini ele alındığında,

$$R = \begin{bmatrix} \xi^T \\ \eta^T \\ \zeta^T \end{bmatrix}$$

Burada ξ^T, η^T, ζ^T , $\{O, x, y, z\}$ çerçevesindeki $\{\Omega, \xi, \eta, \zeta\}$ çerçeve eksenlerinin tersidir.

Şekil 2'de t vektörü, Ω, ξ, η, ζ çerçevesindeki O, x, y, z çerçevesinin orijini gösterir ve P'nin ξ, η düzlemindeki izdüşümü Q noktası ile temsil edilir. w^* , konum vektörüdür.

Son olarak, homojen koordinatlarda denklem şu şekilde verilir:

$$w^{\sim*} = \begin{pmatrix} w_{r,\xi} \\ w_{r,\eta} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi^T w + t_\xi \\ \eta^T w + t_\eta \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

n_r , R görüntü düzlemine dik olan açıdır ve n , $\{O, X, Y, Z\}$ çerçevesindeki aynı açıdır. w^* vektörünün perspektif görüntüsü, uygun bir ölçek faktörü değerlendirilerek elde

edilebilir. Bu, P noktası ile görüntü düzlemi arasındaki d mesafesine bağlıdır. d uzaklığı aşağıdaki skaler çarpımdan elde edilir (Niola, Rossi, & Savino, 2006):

$$d = n_r^T w_r$$

$\{\Omega, \xi, \eta, \zeta\}$ çerçevesinde w vektörü $w_{\{\Omega, \xi, \eta, \zeta\}}$ ile gösterildiğinde:

$$w_{\sim_{\{\Omega, \xi, \eta, \zeta\}}} = \begin{pmatrix} w_\xi \\ w_\eta \\ w_\zeta \\ 1 \end{pmatrix}$$

Denklemleri elde edilmektedir. $\xi^T, \eta^T, \zeta^T, \{O, x, y, z\}$ çerçevesindeki $\{\Omega, \xi, \eta, \zeta\}$ eksenlerinin tersi olduğundan, $w_{\{\Omega, \xi, \eta, \zeta\}}$ vektörünün koordinatlarını $\{\Omega, \xi, \eta, \zeta\}$ çerçevesinde yazmak mümkündür:

$$w_\xi = \xi^T w = \xi_x w_x + \xi_y w_y + \xi_z w_z;$$

$$w_\eta = \eta^T w = \eta_x w_x + \eta_y w_y + \eta_z w_z;$$

$$w_\zeta = \zeta^T w = \zeta_x w_x + \zeta_y w_y + \zeta_z w_z;$$

$\{\Omega, \xi, \eta, \zeta\}$ çerçevesinde, w_r 'yi $w_{\{\Omega, \xi, \eta, \zeta\}}$ ve t'nin toplamı olarak yazmak mümkündür:

$$w_r = w_{\sim_{\{\Omega, \xi, \eta, \zeta\}}} + t = \begin{pmatrix} w_\xi + t_\xi \\ w_\eta + t_\eta \\ w_\zeta + t_\zeta \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi_x w_x + \xi_y w_y + \xi_z w_z + t_\xi \\ \eta_x w_x + \eta_y w_y + \eta_z w_z + t_\eta \\ \zeta_x w_x + \zeta_y w_y + \zeta_z w_z + t_\zeta \\ 1 \end{pmatrix}$$

d'nin diğer bir ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$d = n_r^T w_r = \begin{pmatrix} n_{r,\xi} \\ n_{r,\eta} \\ n_{r,\zeta} \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} w_\xi + t_\xi \\ w_\eta + t_\eta \\ w_\zeta + t_\zeta \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{r,\xi} \\ n_{r,\eta} \\ n_{r,\zeta} \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \xi_x w_x + \xi_y w_y + \xi_z w_z + t_\xi \\ \eta_x w_x + \eta_y w_y + \eta_z w_z + t_\eta \\ \zeta_x w_x + \zeta_y w_y + \zeta_z w_z + t_\zeta \\ 1 \end{pmatrix}$$

Yeni denklemler olan

$$D_x = \frac{(\xi_x w_x + \xi_y w_y + \xi_z w_z + t_\xi) n_{r,\xi}}{w_x};$$

$$D_y = \frac{(\eta_x w_x + \eta_y w_y + \eta_z w_z + t_\eta) n_{r,\eta}}{w_y};$$

$$D_z = \frac{(\zeta_x w_x + \zeta_y w_y + \zeta_z w_z + t_\zeta) n_{r,\zeta}}{w_z};$$

Denklemleri kullanılarak aşağıdaki denklemi yazmak mümkündür:

$$d = n_r^T w_r = \begin{pmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \\ 0 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} w_x \\ w_y \\ w_z \\ w_1 \end{pmatrix} = D^T \cdot w$$

Yukarıdaki ifadedeki D vektörü aşağıdaki gibidir:

$$D = \begin{pmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \\ 0 \end{pmatrix}$$

w^* vektörü şu şekilde verilir:

$$w_p^* = \begin{pmatrix} \xi^T w + t_\xi \\ \eta^T w + t_\eta \\ 0 \\ n_r^T w_r \end{pmatrix}$$

Sonuç olarak perspektif matrisi $[T_p]$ şu şekilde elde edilebilir:

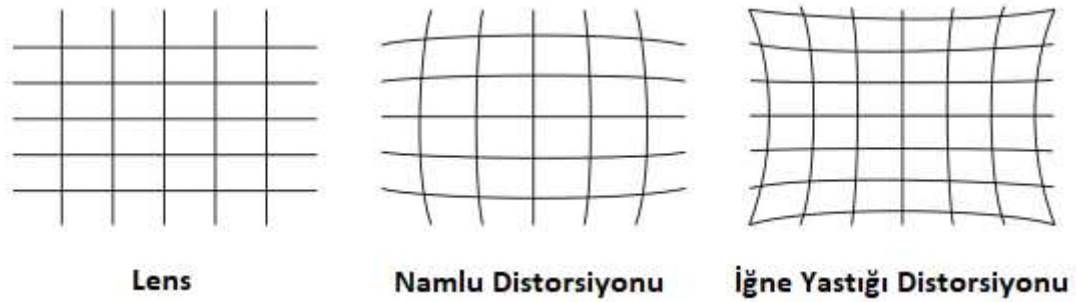
$$w_p^* = T_p w$$

$$T_p = \begin{bmatrix} \xi_x & \xi_y & \xi_z & t_\xi \\ \eta_x & \eta_y & \eta_z & t_\eta \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ D_x & D_y & D_z & 0 \end{bmatrix}$$

D_x , D_y , D_z terimleri, w vektörünün koordinatlarından biri boşsa sonsuz değerler alır, ancak bu, $abc=abc$ ilişkisinin genelliliğini etkilemez, bu durumda sonsuz değer alan terim sıfır için çarpılır (Niola, Rossi, & Savino, 2006).

2.3.6. Lens Distorsiyonu

Lens distorsiyonu, iğne deliği kamera modelinde düşünülen ideal projeksiyondan bir sapmadır. Sahnedeki düz çizgilerin bir görüntüde düz kalmadığı bir optik sapma biçimidir. Lens distorsiyonlarının örnekleri, namlu distorsiyonu ve iğne yastığı distorsiyonudur (Stankiewicz & Domański, 2018).



Şekil 2.5. Lens Distorsiyonu Örnekleri.

Lens distorsiyonu, bir görüntüde kabul edilebilir netlikte odakta olan nesnelere için, en yakın ve en uzak nesnelere arasındaki mesafeyi ifade eden alan derinliği ile yakından ilişkilidir. Orta veya yüksek doğruluk gerektiren uygulamalar için, yakın mesafe görüntüleme parametreleri (örneğin kısa nesne mesafesi (<1 m) ve küçük odak uzaklığı) sıklıkla benimsenmektedir. Bu gibi durumlarda, alan derinliği, lens distorsiyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve dolayısıyla, görü ölçüm hatalarının önemli bir nedeni haline gelir. Örneğin, bir takım tezgahının konturlama hatasını tespit ederken görünümün mikron düzeyinde bir doğruluğa sahip olmasını sağlamak için, alan derinliğinde çalışan enterpolasyon yörüngesinin görüntü dizisini toplamak ve analiz etmek için kamera odak düzleminden 400 mm uzağa yerleştirilir. Bu durumda, düzinelerce mikrondan yüzlerce mikrona kadar değişen ölçüm hataları büyük bir lens distorsiyonundan kaynaklanabilir. Bu nedenle, yakın mesafe fotogrametrisinde görü ölçümü doğruluğunu geliştirmek için, alan derinliğine bağlı lens distorsiyonunun doğru modellenmesi ve kalibrasyonu şarttır (Stankiewicz & Domański, 2018).

2.4. Kullanılan Programlar ve Kütüphaneler

Çalışmada Python programlama dili, ücretsiz ve açık kaynaklı bir bilimsel ortam olan Spyder üzerinde kullanılmıştır. Python ile kullanılan temel kütüphane ise OpenCV'dir. Ayrıca NumPy gibi çeşitli matematiksel hesaplamaların yer aldığı bir kütüphane de Python ile beraber kullanmak için Spyder'a aktarılmıştır.

Son olarak yardımcı program olarak Adobe Photoshop kullanılmıştır.

2.4.1. OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library), açık kaynaklı bir bilgisayarlı görü ve makine öğrenimi yazılım kütüphanesidir. OpenCV, bilgisayarlı görü uygulamaları için ortak bir altyapı sağlamak ve ticari ürünlerde makine algısının kullanımını hızlandırmak amacıyla oluşturulmuştur. BSD lisanslı bir ürün olan OpenCV, işletmelerin kodu kullanmasını ve değiştirmesini kolaylaştırır. OpenCV yerel olarak C++ ile yazılmıştır ve Standart Mozaikleme Birimi (STL) kapsayıcılarıyla sorunsuz çalışan şablonlu bir arayüze sahiptir (Anonim, 2022).

Kütüphane hem klasik hem de son teknoloji bilgisayarlı görme ve makine öğrenimi algoritmalarından oluşan kapsamlı bir set içeren 2500'den fazla optimize edilmiş algoritmaya sahiptir. Bu algoritmalar, yüzleri algılamak ve tanımak, nesnelere tanımlamak, videolarda insan eylemlerini sınıflandırmak, kamera hareketlerini izlemek, hareketli nesnelere izlemek, nesnelere 3B modellerini çıkarmak, stereo kameralardan 3B nokta bulutları üretmek, yüksek çözünürlük elde etmek için görüntüleri bir araya getirmek, tüm bir sahnenin görüntüsüne benzer bir görüntüyü veri tabanından bulmak, flaş kullanılarak çekilen görüntülerden kırmızı gözleri kaldırmak, göz hareketlerini takip etmek, manzarayı tanımak ve artırılmış gerçeklikle kaplamak için işaretler oluşturmak vb. amaçlarla kullanılabilir (Anonim, 2022).

OpenCv kütüphanesi, C++, Python, Java ve MATLAB arayüzlerine sahiptir ve Windows, Linux, Android ve Mac OS'yi destekler. OpenCV, çoğunlukla gerçek zamanlı vizyon uygulamalarına yönelir ve mevcut olduğunda MMX ve SSE talimatlarından yararlanır. Tam özellikli bir CUDA ve OpenCL arayüzleri şu anda aktif olarak geliştirilmektedir. 500'den fazla algoritma ve bu algoritmaları oluşturan veya destekleyen algoritma sayısının 10 katı kadar fonksiyon vardır (Anonim, 2022).

2.4.1.1. imread() Fonksiyonu

Bu fonksiyon bir dosyadan görüntü yüklenmesini sağlar. imread fonksiyonu, belirtilen dosyadan bir görüntü yükler ve onu bir değişken olarak döndürür. Görüntü okunamıyorsa (eksik dosya, uygun olmayan izinler, desteklenmeyen veya geçersiz biçim nedeniyle), fonksiyon boş bir matris döndürür (Anonim, 2022).

2.4.1.2. imwrite() Fonksiyonu

imwrite() fonksiyonu bir görüntüyü belirtilen bir dosyaya kaydeder. Görüntü formatı, dosya adı uzantısına göre seçilir. Genel olarak, bu fonksiyon kullanılarak yalnızca 8 bitlik tek kanallı veya 3 kanallı ('BGR' kanal sıralı) görüntüler kaydedilebilir (Anonim, 2022).

2.4.1.3. cvtColor() Fonksiyonu

Bu fonksiyon bir görüntüyü bir renk uzayından diğerine dönüştürür. Kırmızı-Yeşil-Mavi (RGB) renk uzayından bir dönüşüm durumunda, kanalların sırası açıkça belirtilmelidir (RGB veya Mavi-Yeşil-Kırmızı (BGR)). OpenCV'deki varsayılan renk format genellikle RGB olarak gözükse de aslında BGR'dir (baytlar ters çevrilir). Dolayısıyla standart (24 bit) renkli bir görüntüdeki ilk bayt 8 bitlik mavi bileşen olacaktır, ikinci bayt yeşil ve üçüncü bayt kırmızı olacaktır. Dördüncü, beşinci ve altıncı bayt daha sonra ikinci piksel olacaktır (Mavi, sonra Yeşil, sonra Kırmızı) (Anonim, 2022).

2.4.1.4. inRange() Fonksiyonu

inRange fonksiyonu, dizi elemanlarının diğer iki dizinin elemanları arasında olup olmadığını kontrol eder (Anonim, 2022).

2.4.1.5. bitwise_and() Fonksiyonu

İki dizinin veya bir dizinin ve bir skalerin eleman başına bit bazında birleşimini hesaplar (Anonim, 2022).

2.4.1.6. threshold() Fonksiyonu

Fonksiyon, çok kanallı bir diziye sabit düzeyli eşikleme uygular. Fonksiyon, tipik olarak gri tonlamalı bir görüntüden iki seviyeli (ikili) bir görüntü elde etmek veya bir paraziti gidermek, yani çok küçük veya çok büyük değerlere sahip pikselleri filtrelemek için kullanılır (Anonim, 2022).

2.4.1.7. Kenar Dedektörleri

Kenar detektörleri, özellikle adım kenarı detektörleri, birçok bilgisayarlı görü sisteminin önemli bir parçasıdır. Kenar algılama süreci, işlenecek veri miktarını büyük ölçüde azaltarak ve aynı zamanda nesne sınırları hakkında faydalı yapısal bilgileri koruyarak görüntülerin analizini basitleştirmeye hizmet eder. Kenar algılama uygulamalarında kesinlikle çok fazla çeşitlilik vardır, ancak birçok uygulamanın ortak bir gereksinimi paylaştığı hissedilir. Bu gereksinimler, çözümü orijinal problem alanlarının herhangi birinde uygulanabilen soyut bir kenar algılama problemi verir (Canny, 1986).

2.4.1.7.1. Canny Kenar Dedektörü

Canny Kenar dedektörü 1986 yılında John F. Canny tarafından geliştirilmiştir. Birçok kişi tarafından optimal dedektör olarak da bilinen Canny algoritması üç ana kriteri karşılamayı amaçlar:

- Düşük hata oranı: Yalnızca mevcut kenarların iyi bir şekilde algılanması anlamına gelir.
- İyi yerelleştirme: Algılanan kenar pikselleri ile gerçek kenar pikselleri arasındaki mesafe en aza indirilmelidir.
- Minimum yanıt: Kenar başına yalnızca bir dedektör yanıtı (Anonim, 2022).

Uygulama Adımları:

- a) Öncelikle gürültü filtrelenir. Bunun için Gauss filtresi kullanılır. Boyutu 5 olan bir Gauss filtresi örneği aşağıda gösterilmiştir:

$$K = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

- b) Görüntünün yoğunluk gradyanı bulunur. Bunun için Sobel Operatörüne benzer bir prosedür izlenir:

- Bir çift konvolüsyon maskesi uygulanır (x ve y yönlerinde):

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}$$

- Gradyan gücü ve yönü aşağıdaki gibi bulunur:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

Yön, olası dört açıdan birine yuvarlanır (0, 45, 90 veya 135 derece)

c) Maksimum olmayan bastırma uygulanır. Bu, bir kenarın parçası olarak kabul edilmeyen pikselleri kaldırır. Bu nedenle, yalnızca ince doğrular (aday kenarlar) kalacaktır.

d) Son adım olarak Canny iki eşik kullanır (üst ve alt) (Anonim, 2022):

1. Bir piksel gradyanı üst eşikten daha yüksekse, piksel bir kenar olarak kabul edilir.
2. Bir piksel gradyan değeri alt eşik altındaysa reddedilir.
3. Piksel gradyanı iki eşik arasındaysa, yalnızca üst eşik üzerindeki bir piksele bağlıysa kabul edilecektir.

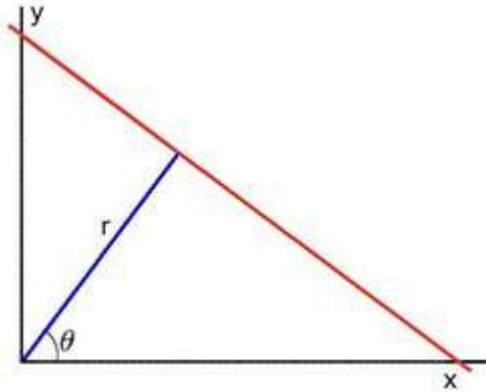
Canny, 2:1 ile 3:1 arasında bir üst:alt oranı önermektedir.

Bu fonksiyon, Canny algoritmasını kullanarak kenarların tespit edilmesini sağlar. Fonksiyon, girdi görüntüsündeki kenarları bulur ve Canny algoritmasını kullanarak bunları çıktı haritası kenarlarında işaretler. Kenar bağlama için threshold1 ve threshold2 arasındaki en küçük değer kullanılır. En büyük değer, güçlü kenarların ilk parçalarını bulmak için kullanılır (Anonim, 2022).

2.4.1.8. Hough Doğru Parçası Dönüşümü

Hough Line Dönüşümü, düz çizgileri tespit etmek için kullanılan bir dönüşümdür. Dönüştürmeyi uygulamak için önce bir kenar algılama ön işlemesi istenir. Görüntü uzayında bir doğru iki değişkenle ifade edilebilir. Örneğin:

Kartezyen koordinat sisteminde parametreler (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) şeklinde 2 noktadır. Polar koordinat sisteminde ise parametreler rho ve theta'dır.



Şekil 2.6. Polar Koordinat Sistemi.

Hough Dönüşümleri için polar sistemindeki doğrular ifade edilir. Dolayısıyla, bir doğru denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$y = -\left(\frac{\cos\theta}{\sin\theta}\right)x + \left(\frac{r}{\sin\theta}\right)$$

Formülün düzenlenmesi ile;

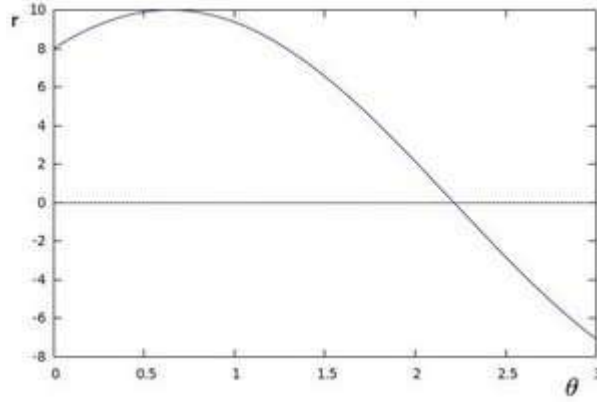
$r = x\cos\theta + y\sin\theta$ denklemi elde edilir. Bu denklemin çözümü için işlem adımları şu şekildedir (Anonim, 2022):

1. Genel olarak her bir (x_0, y_0) noktası için, o noktadan geçen doğrular kümesi şu şekilde tanımlanabilir:

$$r_\theta = x_0 \cos\theta + y_0 \sin\theta$$

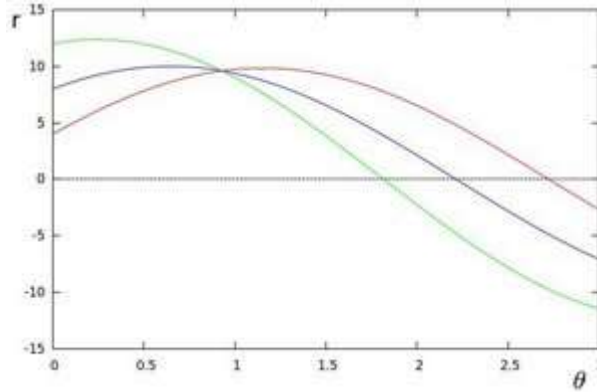
Sonuç olarak her bir (r_θ, θ) çifti (x_0, y_0) 'dan geçen her bir doğruyu temsil eder.

2. Verilen bir (x_0, y_0) için, içinden geçen doğru kümesi çizilirse, bir sinüzoid elde edilir. Örneğin, $x_0 = 8$ ve $y_0 = 6$ için aşağıdaki grafik elde edilir (Anonim, 2022):



Şekil 2.7. Sinüzoid.

3. Yukarıdaki işlemler bir resimdeki tüm noktalar için de uygulanabilir. İki farklı noktanın eğrileri $\theta - r$ düzleminde kesişiyorsa, bu, her iki noktanın da aynı doğruya ait olduğu anlamına gelir. Örneğin, yukarıdaki örneği takip ederek $x_1 = 4, y_1 = 9$ ve $x_2 = 12, y_2 = 3$ noktaları ile iki doğru
4. daha çizerek aşağıdaki grafik elde edilir:



Şekil 2.8. Eğrilerin Kesişim Noktalarının Gösterimi.

Şekil 2.8'de görüldüğü gibi üç eğri tek bir noktada kesişmektedir.

5. Yukarıdaki ifadelerle genel olarak, eğriler arasındaki kesişme sayısı bulunarak bir doğrunun tespit edilebileceği anlamı ortaya çıkmaktadır. Kesişen daha fazla eğri, bu kesişme ile temsil edilen doğrunun daha fazla noktası olduğu anlamına gelir. Genel olarak, bir doğruyu tespit etmek için gereken minimum kesişme sayısı için bir eşik değeri tanımlanabilir.
6. Hough Line Dönüşümü bu işlemi yapmaktadır. Bir görüntüdeki her noktanın eğrileri arasındaki kesişimi takip eder. Eğer kesişme sayısı bir eşik üzerindeyse, bunu kesişme noktasının parametreleriyle (θ, r_θ) bir doğru olarak bildirir.

OpenCV, iki tür Hough Line Dönüşümü uygular:

a) Standart Hough Dönüşümü

1.5.3.2.maddesinde bahsedilen işlemler ile sonuç olarak bir çift vektör verir (θ, r_θ) . OpenCV'de HoughLines() fonksiyonu ile uygulanır.

b) Olasılıksal Hough Doğrusu Dönüşümü

Hough Doğrusu Dönüşümü'nün daha verimli bir uygulamasıdır. Tespit edilen doğruların uç noktalarını çıktı olarak verir (x_1, y_1, x_2, y_2) . OpenCV'de HoughLinesP() fonksiyonu ile uygulanır.

2.4.1.8.1. HoughLines() Fonksiyonu

Standart Hough dönüşümünü kullanarak ikili görüntüdeki doğruları bulur. Fonksiyon, doğru tespiti için standart veya standart çok ölçekli Hough dönüşümü algoritmasını uygular (Anonim, 2022).

2.4.1.8.2. HoughlinesP() Fonksiyonu

Olasılıksal Hough dönüşümünü kullanarak ikili görüntüdeki doğru parçalarını bulur. Fonksiyon, doğru tespiti için olasılıksal Hough dönüşümü algoritmasını uygular (Anonim, 2022).

2.4.1.9. line() Fonksiyonu

line() fonksiyonu, görüntüdeki pt1 ve pt2 noktaları arasındaki doğru parçasını çizer. Doğru, görüntü sınırları tarafından kırılır. Tamsayı koordinatlarına sahip kenarı yumuşatılmamış doğru parçaları için 8 bağlantılı veya 4 bağlantılı Bresenham algoritması kullanılır. Kalın doğru parçaları, yuvarlak uçlu çizilir. Kenarı yumuşatılmış doğru parçaları Gauss filtrelemesi kullanılarak çizilir (Anonim, 2022).

2.4.1.10. fitEllipse() Fonksiyonu

Bir dizi 2B noktanın etrafına bir elips sığdırır.

Fonksiyon, bir dizi 2B noktaya uyan (en küçük kareler yöntemi anlamında) elipsi en iyi şekilde hesaplar. Elipsin sığmış olduğu döndürülmüş dikdörtgeni verir çıktı olarak. Veri noktalarını içeren Mat (n boyutlu yoğun dizi sınıfı) ögesinin sınıra yakın olması nedeniyle

elde edilen ellipse/rotatedRect verilerinin negatif endeksler içermesi mümkündür (Anonim, 2022).

2.4.1.11. Perspektif Dönüşümü

2.4.1.11.1. getPerspectiveTransform()

Fonksiyon karşılık gelen noktaların dört çiftinden bir perspektif dönüşümü hesaplar (Anonim, 2022).

Fonksiyon, bir perspektif dönüşümün 3x3 matrisini şu şekilde hesaplar:

$$\begin{bmatrix} t_i x'_i \\ t_i y'_i \\ t_i \end{bmatrix} = \text{map_matrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

Burada; $dst(i) = (x'_i, y'_i)$, $src(i) = (x_i, y_i)$, $i = 0, 1, 2, 3$ ve `map_matrix` perspektif dönüşüm matrisidir.

2.4.1.11.2. warpPerspective()

Bu fonksiyon, bir görüntüye bir perspektif dönüşümü uygular.

`warpPerspective` fonksiyonu, `WARP_INVERSE_MAP` bayrağı ayarlandığında aşağıdaki matrisi kullanarak kaynak görüntüyü dönüştürür. Aksi takdirde, dönüşüm önce ters çevirme ile ters çevrilir ve ardından M yerine aşağıdaki formüle konur. Fonksiyon yerinde çalışamaz (Anonim, 2022).

$$dst(x, y) = src \left(\frac{M_{11}x + M_{12}y + M_{13}}{M_{31}x + M_{32}y + M_{33}}, \frac{M_{21}x + M_{22}y + M_{23}}{M_{31}x + M_{32}y + M_{33}} \right)$$

2.4.2. NumPy Kütüphanesi

NumPy, Python'da bilimsel hesaplama için temel bir pakettir. Çok boyutlu bir dizi nesnesi, çeşitli türetilmiş nesnelere (maskelenmiş diziler ve matrisler gibi) ve diziler üzerinde matematiksel, mantıksal, şekil işleme, sıralama, seçme, girdi/çıkı, ayrık Fourier dönüşümleri, temel doğrusal cebir, temel istatistiksel işlemler, rastgele simülasyon ve çok

daha fazlası dahil olmak üzere hızlı işlemler için çeşitli rutinler sağlayan bir Python kütüphanesidir (Anonim, 2022).

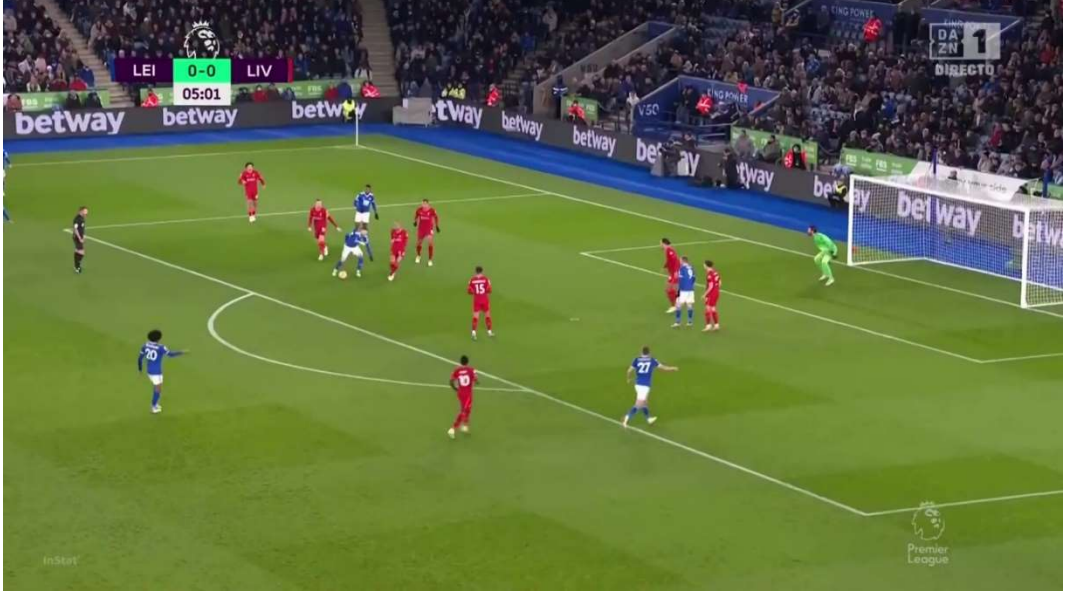
2.4.3. Photoshop

Adobe Photoshop, baskın fotoğraf düzenleme ve işleme yazılımıdır. Kullanımı, büyük fotoğraf gruplarının tam özellikli düzenlenmesinden elle yapılanları taklit eden karmaşık dijital tablolar ve çizimler oluşturmaya kadar uzanır.

3. UYGULAMA

3.1. Video Görüntülerinin Resimlere Dönüştürülüp Filtreler Uygulanması

Öncelikle maç videolarının her bir görüntü karesi resimlere dönüştürülmüştür. Dönüştürme işlemi sonrasında örnek olarak aşağıdaki gibi bir görüntü karesi elde edilmiştir:



Şekil 3.1. Kaynak Görüntü Karesi.

Elde edilen görüntü karelerinden yola çıkarak öncelikle hedef saha çizgilerinin belirlenmesidir. Saha çizgilerinin belirlenebilmesi için öncelikle kaynak görüntüde renkler HSV renk kodlarına dönüştürülmüştür (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. HSV Renk Kodlarına Sahip Görüntü.

Saha çizgilerinin daha net bir şekilde bulunabilmesi için öncelikle saha zeminini görüntüden ayırtmak amacıyla HSV renk kodlarına sahip görüntü üzerinde yeşil renk maskelenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yeşil Rengin HSV Kodlu Görüntüden Maskelenmesi.

Yeşil rengi maskeleyen filtre, kaynak görüntüye uygulanmıştır ve bu sayede yeşil zemin dışındaki görüntüde yer alan elementlerin çoğu görüntüden kaldırılmıştır ve görüntünün büyük kısmı saha zemini ve saha çizgilerinden oluşacak hale gelmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Yeşil Renk Dışındaki Renklerin Maskelendiği Görüntü.

Maskeleme sonrası elde edilen görüntü renk tonlaması olarak gri tonlamasına dönüştürülmüştür (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Gri Tonlamalı Görüntü.

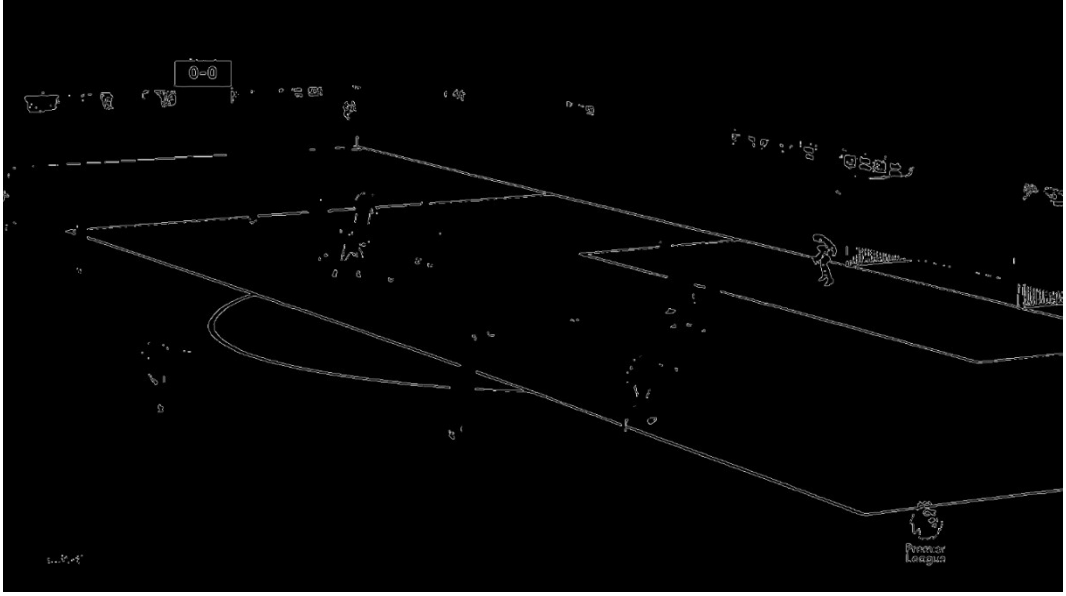
Son olarak gri tonlamasına sahip olan görüntüden siyah beyaz renklere sahip ve gürültülerin belirli ölçüde giderildiği görüntüye ulaşmak için görüntü eşikleme filtresi kullanılmıştır ve görüntü üzerinde uygulanan filtreler sonlanmıştır.



Şekil 3.6. Siyah Beyaz Görüntü.

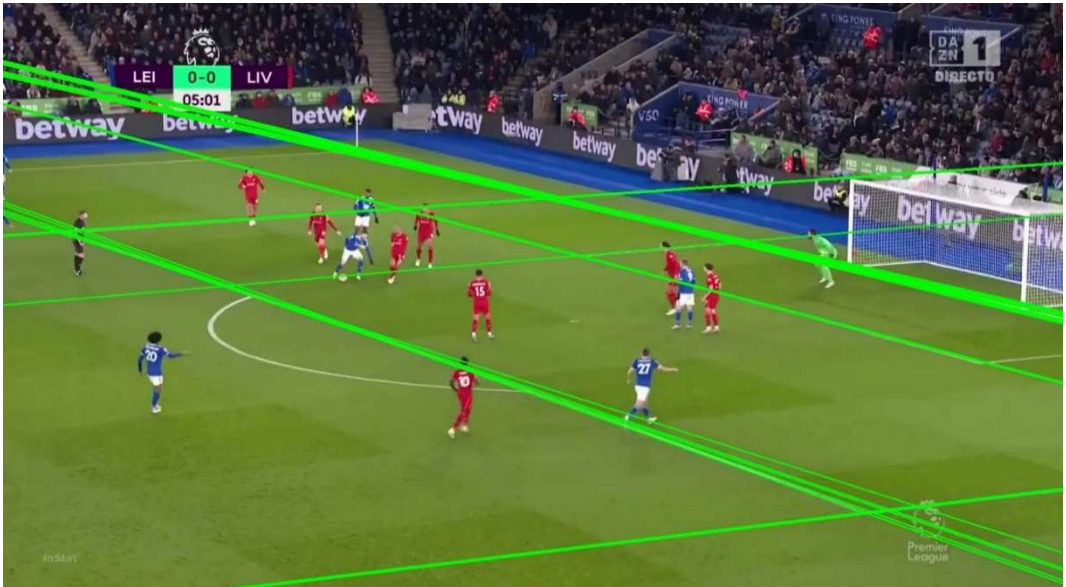
3.2. Saha Çizgileri ve Direkler Üzerinden Geçen Çizgilerin Tespit Edilmesi

Çeşitli filtrelerin uygulandığı görüntülerden ilk olarak saha çizgilerinin tespiti aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada siyah beyaz görüntü üzerine Canny kenar dedektörü fonksiyonu uygulanarak görüntüde yer alan beyaz renkli bölümlerin kenarları çizilmiştir.



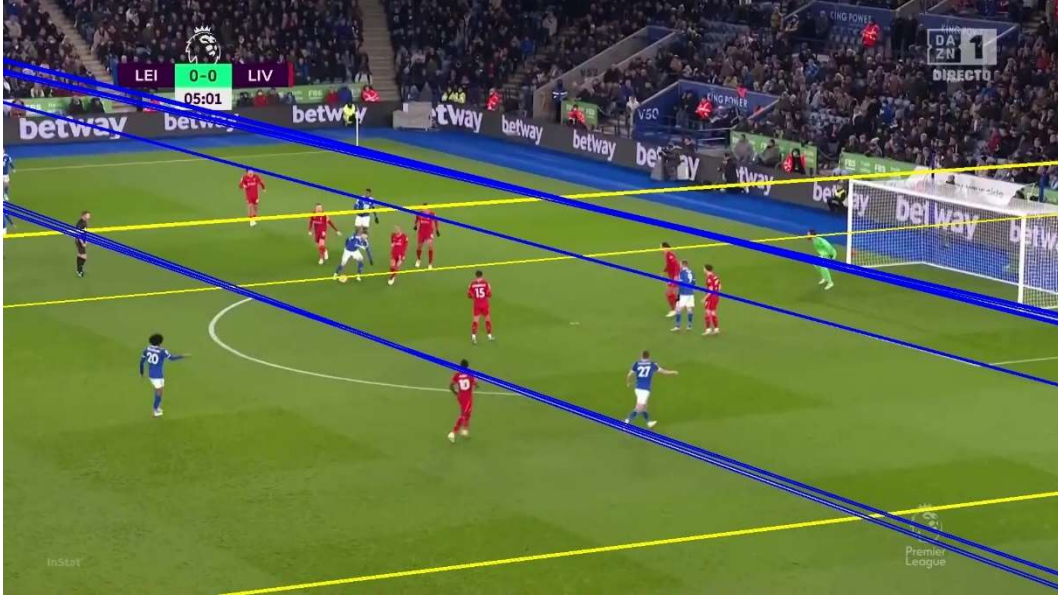
Şekil 3.7. Siyah Beyaz Görüntüden Kenarların Elde Edilmesi.

Kenarları çizili görüntü üzerinde Hough Doğru Parçası Dönüşümü yöntemiyle görüntüde 2 kenar arasından geçecek doğrusal doğru parçaları çeşitli parametreler ve eşik değeri belirlenerek bulunmuştur ve bu doğru parçaları başlangıç ve bitiş yönleri doğrultusunda uzatılıp aşağıdaki görüntü elde edilmiştir:



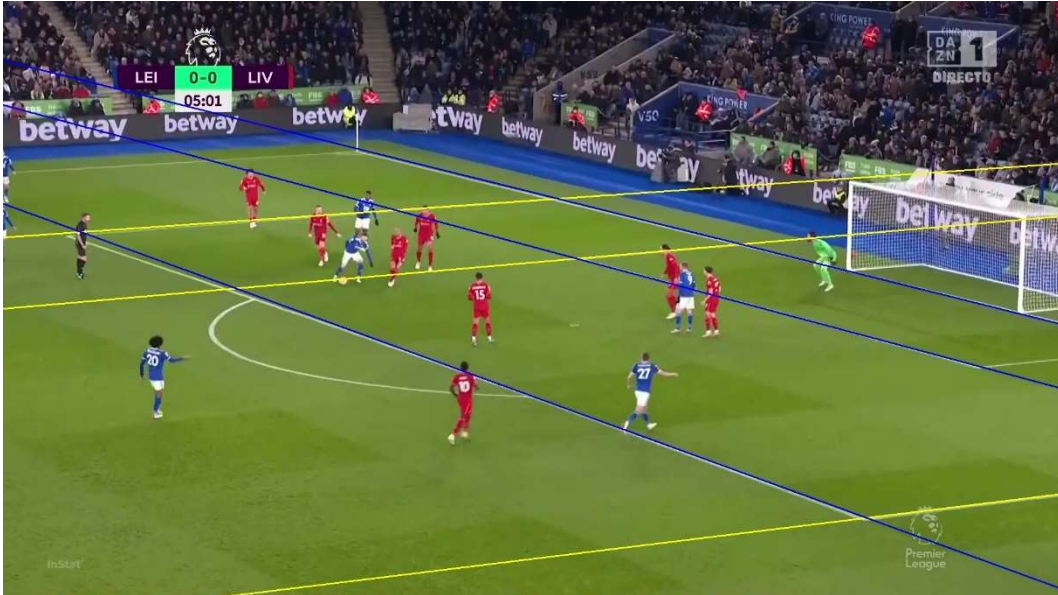
Şekil 3.8. Saha Çizgilerinin Bulunması.

Doğru parçalarının her iki doğrultuda da uzatıldığı görüntüden doğru parçalarının açıları kullanılarak bu doğru parçaları aşağıdaki görüntüde görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır:



Şekil 3.9. Saha Çizgilerinin Sınıflandırılması.

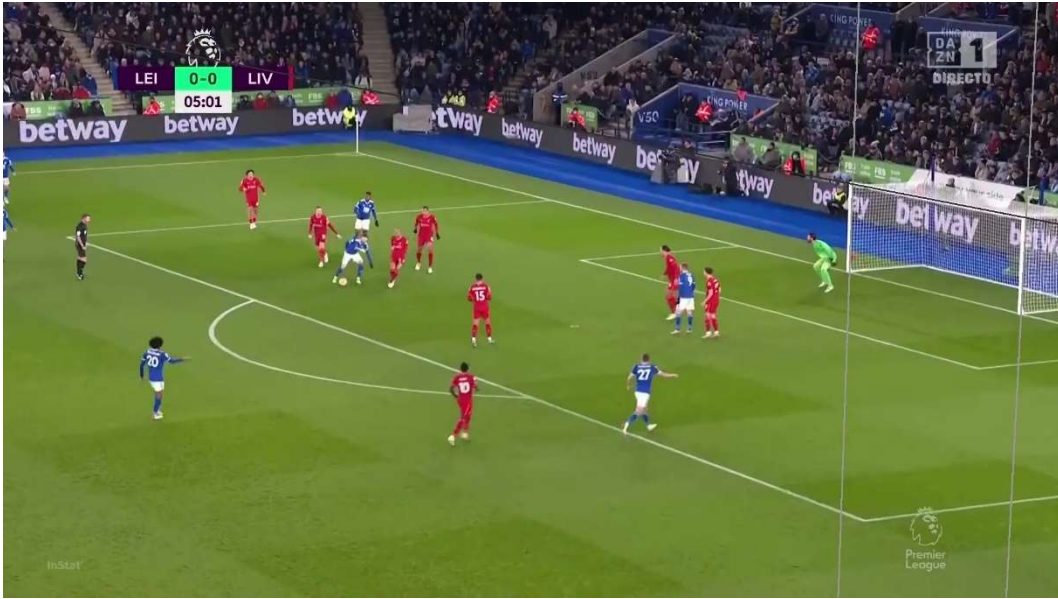
Sınıflandırılmış olan doğru parçalarından üst üste çakışık olanları ve aynı saha çizgisi üzerinde az bir açı farkıyla tespit edilen benzer olanları da bulunmaktadır. Bunlar 1 adet doğru parçasına indirgenmiştir.



Şekil 3.10. Yinelenen ve Benzer Saha Çizgilerinin Kaldırılması.

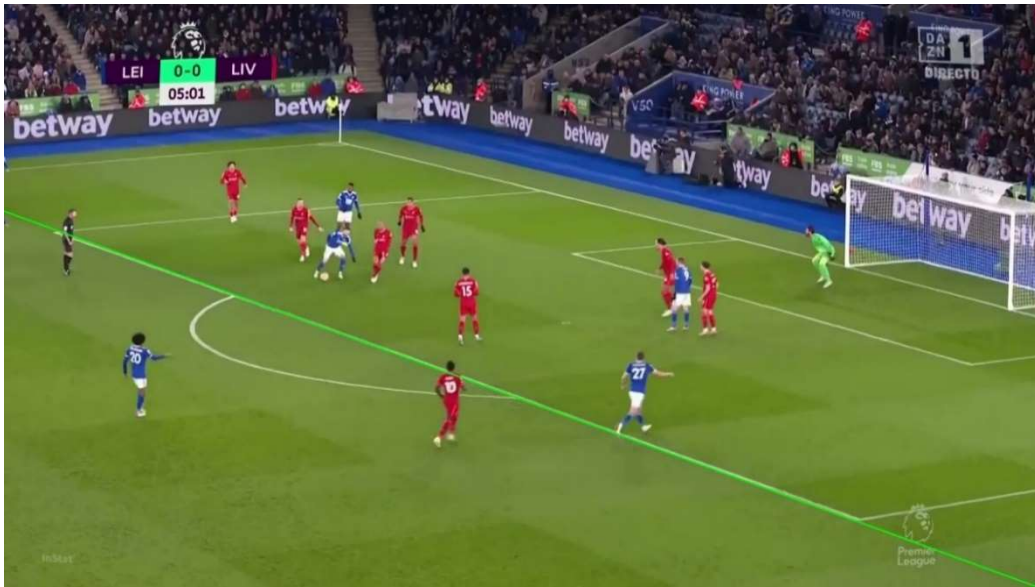
Saha çizgileri bulunduktan sonra aynı işlem farklı eşit değeri kullanılarak kale direklerinin bulunması için de uygulanmıştır ve bu sefer sadece kale direklerinden geçen

doğru parçaları elde edilip bu doğru parçaları saha çizgelerinin uzatıldığı gibi 2 doğrultuda da uzatılmıştır ve birer tane doğru parçası olacak şekle indirgenmiştir.



şekil 3.11. Direkler Üzerinden Geçen izgilerin Bulunması.

Saha çizgileri üzerinde bulunan doğru parçalarının bir kısmının saha çizgisini terk ettiği görölmüştür ve photoshop ile lens distorsiyonunun düzeltilmesi işlemi uygulanıp saha çizgisini daha az oranda terk eden doğru parçaları elde edilmiştir:



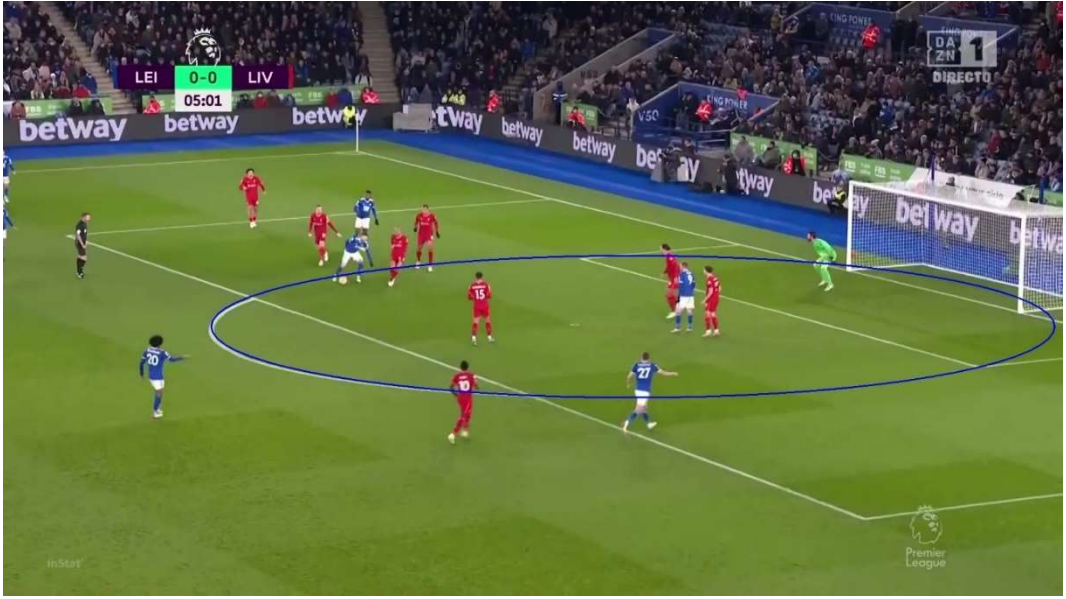
şekil 3.12. Lens Distorsiyonunun Düzeltilmesi.

Saha içerisinde bulunan yay da etiketlemek istenen noktaları bulmada önemli bir yere sahip olduğundan o yayların bulunması için öncelikle saha çizgileri siyah renk ile siyah beyaz göründü üzerine çizdirilmiştir:



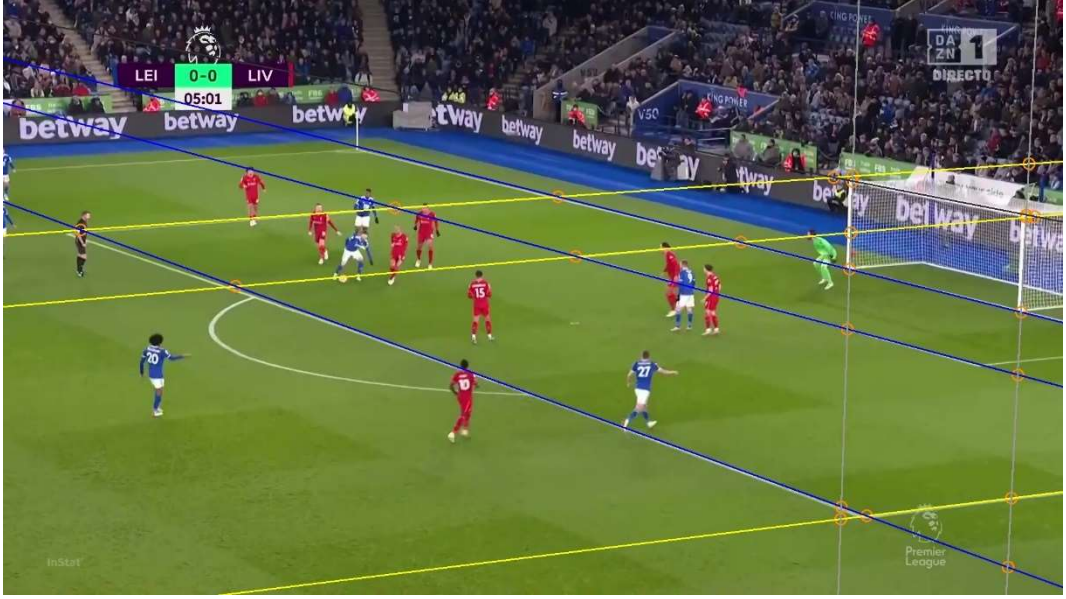
Şekil 3.13. Saha Çizgilerinin Siyah Renkle Siyah Beyaz Görüntüye Çizdirilmesi.

Yukarıda elde edilen görüntüye yay parçası üzerinden geçecek şekilde bir elips oturtulmuştur:



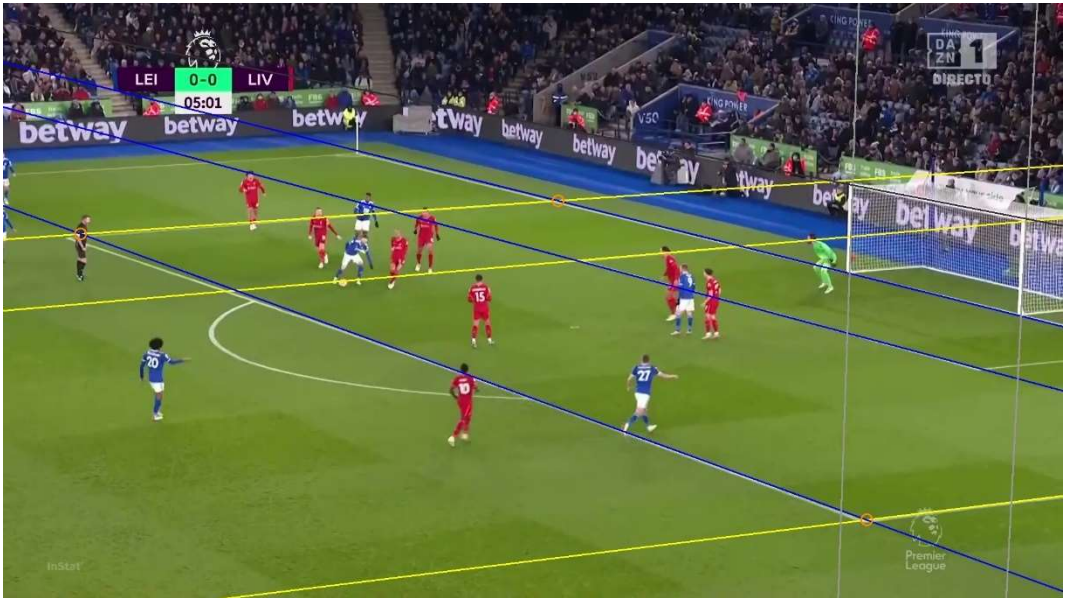
Şekil 3.14. Yay Üzerinden Geçen Bir Elip Bulunması.

Saha çizgilerinin kendi aralarında, direkler üzerinden geçen çizgilerin kendi aralarından ve bütün çizgilerin de kendi aralarında kesişim noktaları bulunmuştur.



Şekil 3.15. Bütün Kesişim Noktalarının Bulunması.

Bulunan kesişim noktaları, saha çizgileri ve direkler üzerinden geçen çizgiler kullanılarak bazı doğru parçaları etiketlenmiştir. Etiketlenen doğru parçalarından yola çıkılarak ceza sahası bölgesinin 4 köşe noktaları bulunmuştur.



Şekil 3.16. Ceza Sahası Dış Noktalarının Elde Edilmesi.

Saha çizgileri üzerinden geçen bütün doğru parçalarının kesişim noktaları ile bu 4 noktanın pozisyonları karşılaştırılıp bu 4 noktaya yakın olan noktaların ortalamaları alınmıştır ve dönüşüm matrisine bu son durumdaki 4 nokta ceza sahasının gerçek boyutu

oranında bir çıktı görüntüsüne denk gelecek şekilde gönderilmiştir ve sadece ceza sahasının üstten dik bir açıyla olan görüntüsü elde edilmiştir:



Şekil 3.17. Perspektif Dönüşümün Ceza Sahası Boyutları Oranında Uygulanması.

Ceza sahası boyutlarında uygulanan bu perspektif dönüşüm matrisi tam saha boyutuna denk gelecek şekilde uygulandığında ise sonuç olarak elde edilen görüntü aşağıdaki gibidir:



Şekil 3.18. Perspektif Dönüşümün Tam Saha Boyutları Oranında Uygulanması.

105 metre eninde ve 68 metro boyunda olan gerçek saha boyutu piksel olarak bu rakamların 20 katı alınarak 2100 piksel boyunda ve 1360 piksel eninde bir görüntü olarak belirlenmiştir. Kaynak görüntüde işaretlenin herhangi bir noktanın piksel olarak pozisyonunun karşılığı çıktı görüntüsünde yine piksel olarak bir pozisyona denk gelmektedir. Bu sayede metre ölçü biriminde gerçek sahadaki koordinatı belirlenmektedir.

Bu kısımdaki kaynak görüntü (1. kaynak görüntü) için uygulanan işlem adımları 3 farklı görüntüye daha uygulanmıştır ve bu görüntüler ile sonuçları aşağıda yer almaktadır:



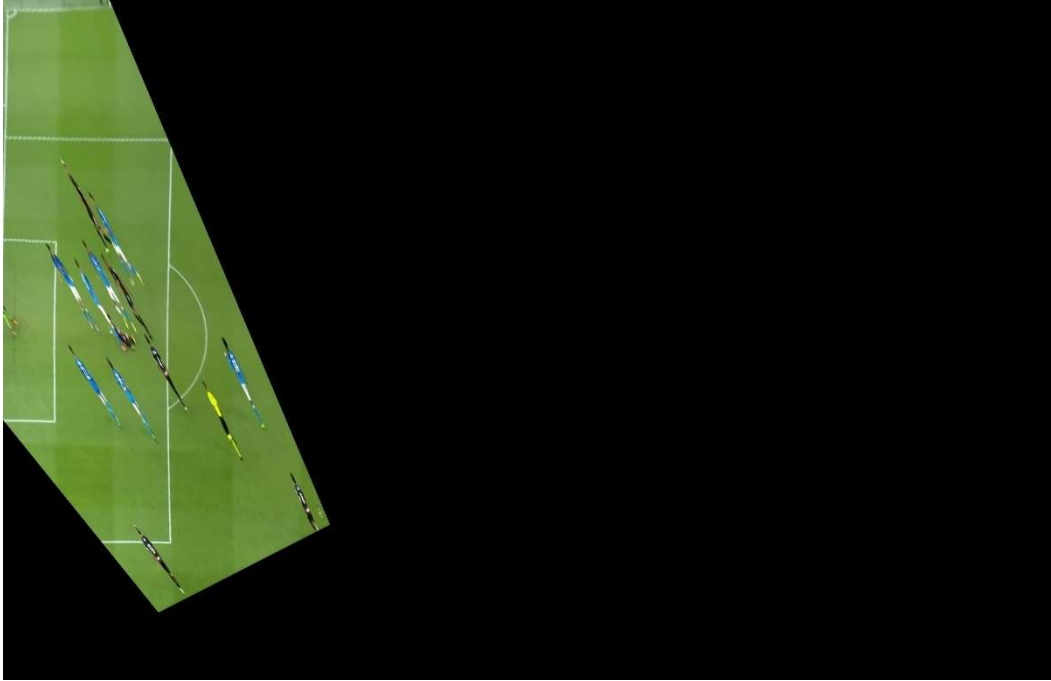
Şekil 3.19. 2. Kaynak Görüntü.



Şekil 3.20. 2. Kaynak Görüntünün Perspektif Dönüşüm Sonucu.



Şekil 3.21. 3. Kaynak görüntü.



Şekil 3.22. 3. Kaynak Görüntünün Perspektif Dönüşüm Sonucu.



Şekil 3.23. 4. Kaynak Görüntü.



Şekil 3.24. 4. Kaynak Görüntünün Perspektif Dönüşüm Sonucu.

Bu bölümde kullanılmış olan 4 ayrı kaynak görüntüde sonucun elde edilmesinde kullanılan işlemler için toplam çalışma zamanları Çizelge 3.1’de yer almaktadır:

Çizelge 3.1. Görüntüler İçin Çalışma Zamanları.

Kaynak Görüntü	Çalışma Zamanı (saniye)
1.Kaynak Görüntü	1.87
2.Kaynak Görüntü	2.14
3.Kaynak Görüntü	1.48
4.Kaynak Görüntü	1.52

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

4.1. Sonuçlar

Uygulama adımının son kısmında elde edilen sahanın dikey olarak üstten görünüm görüntüsü gerçek bir sahanın üstten görünüm görüntüsüne ufak hata payları dışında çok yakındır. Bu sebeple, kaynak görüntü üzerinde herhangi bir işlem yapılmadan, saha üzerindeki oyuncular, hakem ve futbol topunun konumları belirlendiğinde, uygulama adımının son aşamasında gerçekleştirilmiş olan perspektif dönüşüm matrisi kullanılarak belirlenen konumların gerçek sahadaki koordinatları da belirlenmiş olacaktır. Bu uygulama çalışma içeriğinde etiketlenmiş olan noktaların görüldüğü görüntülerde çalışmaktadır.

Çalışmanın son kısmında kullanılan etiketlenmiş noktalar futbol ceza sahasının 4 dış noktasıdır. Bu 4 dış noktanın birden belirlenemediği durumlarda belirlenebilen ve etiketlenebilen herhangi bir doğrusal olmayan 4 nokta da kullanılıp bu işlemler yapılabilir. Ancak çalışma için kullanılan etiketlenmiş 4 noktanın oluşturduğu alan ne kadar geniş olursa hassasiyet artacağından daha iyi sonuç verecektir ve çalışmada belirlenebilmiş ve etiketlenmiş doğrusal olmayan en dış 4 nokta kullanılıp işlemler gerçekleştirilmiştir.

Görüntülerde saha çizgilerinin görünürlüğünün yüksek olduğu durumlarda daha iyi sonuçlar alınacaktır. Özellikle görüntüde en uzak noktada yer alan saha çizgilerinin bulunmasında daha kaliteli, daha yüksek çözünürlüklü bir görüntünün kullanılması daha fazla etiketlenebilir noktanın bulunmasını sağlayacaktır.

Uygulama adımında ceza sahası yayının üzerinden geçen bir elips de bulunmuştur ancak çalışmada saha çizgilerinin kesişim noktalarını bulmak için kullanılmamıştır. Çalışmanın ilerletilmesi için bulunan elips de kullanılabilir.

4.2. Tartışmalar

Çalışmanın ilerletilebilmesi için mevcutta yapılanlara ek olarak görüntü ve video birleştirme, görüntü sınıflandırması ve derin öğrenme, insan hareketlerinin ve saha temas noktalarının tespiti işlemleri yapılabilir.

Görüntü ve video birleştirme sayesinde ceza sahası çizgilerinin kesişim noktaları gibi etiketlemek istenen belirli noktaların tespit edilemediği durumlarda o anki görüntü karesinin daha geri ve daha ileri kareleri kullanılarak belirli noktaların tespit edilebildiği görüntü karelerine ulaşıp o karelere bu birleştirme algoritmaları uygulanır ve daha geniş bir görüntü elde edilir. Bu geniş görüntü üzerinde çalışmada yer alan yöntemler ile etiketlemek istenen belirli noktalar tespit edilerek konum bulma işlemi yapılır.

Görüntü sınıflandırması ve derin öğrenme algoritmaları ile ilk anda elde edilen görüntü karelerinden kullanılmak istenen görüntü kareleri ayıklanabilir. Kale arkası görüntüleri, direkt oyunculara yapılan zoomlu görüntüler gibi aykırı görüntüler ayıklandığında geriye sadece benzer görüntüler kalacaktır ve çalışmada kullanılan yöntemler uygulanabilecektir.

Oyuncuların hareketlerinin ve saha temas noktalarının kullanılıp, hareketli bir figür üzerinde ortalanmış bir uzay-zamansal hacim üzerinde düzleştirilmiş ve toplu optik akış ölçümlerine dayanan bir hareket tanımlayıcısı oluşturmak, bu tanımlayıcıyı belirli bir piksel boyutundaki oyuncuların tespit edilip hareketlerinin analiz edilip (futbolcuların topa vuruş hareketleri ve kalecilerin topa yükselip, topu tutup, yere temas ediş hareketleri vb.) bu hareketleri sınıflandırmak, futbolcuların eklem pozisyonlarının çıkartılıp hareketlerin yer aldığı eylem veritabanındaki en iyi eşleşen hareketi alarak 2 boyutlu bir iskelet konumu işaretleyip, 3 boyutlu iskelet modeline oturtmak gibi amaçlar için kullanmak ayrı bir çalışma olabilecektir.

Amaç, insan hareketlerini uzaktan, bütün bir insanın, örnek olarak 30 piksel boyunda olabileceği çözünürlüklerde tanımaktır. Sabitlenmiş her insan figürü için bir uzay-zamansal hacimde optik akış ölçümlerine dayanan yeni bir hareket tanımlayıcısı ve en yakın komşu çerçevesinde kullanılacak ilgili bir benzerlik ölçüsü sunulmaktadır. Gürültülü optik akış ölçümlerinden yararlanmak, optik akışı kesin piksel yer değiştirmeleri olarak değil, uzaysal-zamansal hareket tanımlayıcısını oluşturmak için dikkatlice düzleştirilen ve toplanan gürültülü ölçümlerin uzaysal bir modeli olarak ele alınan temel bir zorluktur. Bir sorgu dizisinde bir insan figürü tarafından gerçekleştirilen eylemi sınıflandırmak için, depolanmış, açıklamalı video dizilerinden oluşan bir veri tabanından en yakın komşu (lar) alınır. Bu alınan örnekler, 2B/3B iskeletleri sorgu

dizisindeki şekillere aktarmak için ve ayrıca “Yaptığımı Yap” ve “Söylediğimi Yap” olmak üzere iki veri tabanlı eylem sentezi biçimini kullanmak için de kullanılabilir.

4.2.1. Görüntü ve Video Birleştirme

Resim birleştirme, bilgisayarla görü ve grafiklerde en eski ve en yaygın kullanılan konular arasındadır. Son yıllarda, birçok alanda (örneğin, görüntü işleme, bilgisayarla görü ve multimedya) uygulanan birleştirme algoritmaları ve akıllı telefon uygulamalarıyla güzel panoramalar oluşturmak, gözetleme için FOV (geniş görüş alanlı videolar) oluşturmak ve otomobillere yardımcı olmak gibi insanların günlük yaşamlarıyla yakından ilişkilidir. Adobe Photoshop, AutoStitch1, PTGui2 ve Image Composite Editor 3 gibi birçok iyi bilinen uygulama, geniş açılı bir görünüm oluşturmak için birden çok örtüşen görüntüyü etkili bir şekilde birleştirir. Panoramik dikişe dayalı Nokia OZO4, GoPro Odyssey5, Facebook Surround 3606 ve Samsung Gear3607 gibi çeşitli 360 derecelik polidoptrik kameralar piyasaya sürülmüştür. Bu kameralar bir dizi görüntüden bir panorama oluştururlar ve bu panorama, kafaya takılan sanal gerçeklik cihazı ile görüntülenebilir. Bununla birlikte, bu uygulamalar ve kameralar için kısıtlı edinim ortamları ve veri kümeleri gereklidir ve pratik olarak birleştirilecek çeşitli veri kümeleri standart değildir ve örneğin geniş taban çizgisi, büyük paralaks, aydınlatma ve kontrasttaki değişiklikler, düşük doku ve tikanıklık gibi birçok potansiyel kusur içerir (Lyu, Zhou, Chen, & Zhou, 2019).

Görüntü birleştirme algoritmaları, üç aşamadan oluşan temel bir ardışık düzen gerçekleştirerek bir dizi görüntüden geniş bir FOV görünümü oluşturur. İlk aşamada, kameraların iç ve dış parametrelerinin önceden kalibre edilmesi veya optik akış hesaplanarak piksellere dayalı bir hareket modelinin tahmin edilmesi yoluyla orijinal görüntüler arasındaki karşılık gelen ilişkiler (örneğin piksel eşleşmesi ve seyrek özellik eşleşmesi) kurulur. Bir sonraki adımda, görüntüler arasında tahmini dönüşümler ve kayıt işlemi gerçekleştirildikten sonra, bir görüntü düzlemi, örneğin birinci görüntü düzlemi veya tahmini bir ara düzlem seçilerek bir koruma düzlemi belirlenir ve ardından kayıtlı görüntüler deforme olur ve projeksiyon düzlemine hizalanır. Son olarak, hizalanmış görüntüler, görüntüler arasındaki örtüşen bölgelerdeki karşılık gelen aynı pikselleri karıştırarak ve örtüşmeyen bölgelerdeki pikselleri koruyarak büyük bir tuval üzerinde birleştirilir.

Çoğu görüntü birleştirme algoritması, orijinal görüntülerin optik merkezi etrafında dönen bir kamera tarafından yakalandığını (örneğin, çoğu panoramik birleştirme algoritması) veya sahnenin yaklaşık olarak düzlemsel olduğunu (paralaks yok veya minimum paralaks) ve bu hipotezlerin ihlal edilmesinin hatalı görüntü kaydı, daha fazla yanlış hizalama ve gölgelenme ile sonuçlandığını varsaymaktadır. Bu sorunları çözmek için çoklu homografi kestirimi ve hizalama optimizasyon algoritmaları ortaya çıkmıştır.

Görüntü birleştirme ile karşılaştırıldığında, video birleştirme öncelikle görüntü birleştirme ile doğrudan ilişkilidir. Video birleştirme birçok yönden çoklu görüntü birleştirmenin bir uzantısı veya genellemesidir ve büyük derecelerde bağımsız hareket, kamera yakınlaştırması ve dinamik olayları görselleştirme isteği ek zorluklar getirir. Çoğu çalışma, orijinal videoların statik ve dinamik (sabit optik sensör ve hareketli kameralar) olmak üzere iki moddan birinde çekildiğini ve her moda karşılık gelen farklı sorunlar ve çözümler olduğunu göstermektedir. Video birleştirme algoritmaları genellikle üç adım içerir:

1. Bir birleştirme şablonu ilk önce orijinal videoların seçilen karelerinin görüntü birleştirme algoritmalarıyla birlikte birleştirilmesiyle oluşturulur;
2. Tek bir geniş açılı video, şablona göre ardışık görüntü karelerinin birleştirilmesiyle oluşturulur.
3. Birleştirilmiş videodaki olası bulanıklık ve gölgelenmeyi çözmek için ön plan algılama kullanılır, yani bir nesne görüntüler arasında örtüşen bölgelerde hareket ettiğinde birleştirme şablonu güncellenir.

Sabit optik sensörlerin aksine, bazı çalışmalar hareketli kameralarla çekilen videoları birleştirmeye odaklanır (örneğin, elde tutulan mobil kameralar ve insansız hava araçları) ve bu tür videolar genellikle birleştirme için ek zorluklar (titreme ve büyük paralaks) doğurur. Stabilizasyon algoritmaları genellikle birleştirilmiş videodaki titreşim artefaktlarını ortadan kaldırmak için benimsenir (Lyu, Zhou, Chen, & Zhou, 2019).

4.2.2. Görüntü Sınıflandırması ve Derin Öğrenme

Görüntü sınıflandırması, bir bilgisayarın bir görüntüyü analiz edebileceği ve görüntünün altına girdiği sınıfı (veya görüntünün bir sınıfın parçası olma olasılığı) tanımlayabildiği yerdir. Bir sınıf, esasen bir etikettir, örneğin "araba", "hayvan", "bina" vb. Örneğin, bir

köpeğin resmini girdi olarak girersiniz. Görüntü sınıflandırması, bilgisayarın görüntüyü analiz edip bunun bir köpek olduğunu (ya da köpek olma olasılığı) söyleme sürecidir (Anonim, 2022).

Erken görüntü sınıflandırması, ham piksel verilerine dayanıyordu. Bu, bilgisayarların görüntüleri ayrı piksellere ayıracağı anlamına geliyordu. Sorun şu ki, aynı şeyin iki resmi çok farklı görünebilir. Farklı geçmişlere, açılara, pozlara vb. sahip olabilirler. Bu, bilgisayarların görüntüleri doğru bir şekilde görmesini ve kategorilere ayırmasını oldukça zorlaştırmaktaydı (Anonim, 2022).

Görüntü sınıflandırmanın birkaç kullanımı vardır ve güvenilirliği arttıkça büyük bir potansiyeli vardır. Otonom araçlar, etraflarında ne olduğunu belirlemek için görüntü sınıflandırmasını kullanır. Görüntü sınıflandırması sağlık hizmetlerinde de yardımcı olabilir. Örneğin, tıbbi görüntüleri analiz edebilir ve bir hastalık belirtisini tasvir edip etmediklerini önerebilir.

Derin öğrenme, bir tür makine öğrenimidir; makinelerin verilerden öğrenmesini sağlayan bir yapay zeka alt kümesidir. Derin öğrenme, sinir ağları olarak bilinen bilgisayar sistemlerinin kullanımını içerir (Anonim, 2022).

Sinir ağlarında, girdi, gizli düğüm katmanları aracılığıyla filtrelenir. Bu düğümlerin her biri girdiyi işler ve sonuçlarını sonraki düğüm katmanına iletir. Bu, bir çıktı katmanına ulaşana kadar tekrar eder ve makine yanıtını verir (Anonim, 2022).

Gizli katmanların nasıl çalıştığına bağlı olarak farklı sinir ağları türleri vardır. Derin öğrenme ile görüntü sınıflandırma, çoğunlukla evrişimli sinir ağlarını içerir. Bu ağlarda, gizli katmanlardaki düğümler, çıktılarını her zaman bir sonraki katmandaki (evrişimli katmanlar) her düğümle paylaşmaz (Anonim, 2022).

Derin öğrenme, makinelerin görüntülerden özellikleri belirleyip çıkarmasına olanak tanır. Bu, çok sayıda resmi analiz ederek görüntülerde arayacakları özellikleri öğrenebilecekleri anlamına gelir. Dolayısıyla programcıların bu filtreleri elle girmelerine gerek yoktur (Anonim, 2022).

4.3. İnsan Hareketlerinin ve Saha Temas Noktalarının Tespiti

Bir futbol sahasının geniş açılı çekimi gibi bir video düşünülürken, tek tek oyuncular kolayca takip edilebilir ve koşma, tekmeleme, zıplama gibi hareketler tanınabilir. Bu, çözünürlüğün yüksek olmamasına rağmen mümkündür (her oyuncu örneğin sadece 30 piksel boyunda olabilir).

Yakın alanda, 300 piksel uzunluğunda figürler olabilir ve uzuvlar, gövde ve kafa gibi parçaları bölümlere ayırıp etiketleyebilmek ve böylece bir çubuk figürü işaretlenebilir. Öte yandan, uzak alanda, yalnızca 3 piksel uzunluğunda figürler olabilir ve bu durumda yapılabilecek en iyi şey, içindeki farklı konumların ayrı hareketlerini ifade etme yeteneği olmadan şekli bir "blob" olarak izlemektir. Blob izleme, yaya trafiğini ölçmek gibi uygulamalar için yeterince iyidir, ancak çıkarılabilen tek tanımlayıcının blobun bir bütün olarak çevirisi olduğu göz önüne alındığında, çok fazla eylem kategorisi arasında ayırım yapmak beklenemez.

Uygulama Adımları

Her bir insan figürü takip edilerek ve sabitlenerek başlanır. Kavramsal olarak bu, insan görüşündeki mükemmel pürüzsüz takip hareketlerine veya hareketli figürü görüş alanının merkezinde tutan bir kamera operatörünün ustaca bir kaydırma hareketine karşılık gelir. Uzamsal-zamansal hacim içindeki herhangi bir kalıntı hareket, farklı vücut parçalarının görelî hareketlerinden kaynaklanır: uzuvlar, kafa, gövde vb. Bu hareket, optik akışı hesaplamaya, onu bir dizi hareket kanalına yansıtmaya ve bulanıklaştırmaya dayanan bir tanımlayıcı ile karakterize edilir. Tanıma, en yakın komşu çerçevesinde gerçekleştirilir. Daha önce görülen ve etiketlenmiş eylem parçalarının depolanmış bir veritabanında bir uzay-zaman çapraz korelasyonunu hesaplanarak, sorgu eylemi parçasının hareket tanımlayıcısına en çok benzeyeni bulunabilir. Alınan en yakın komşu(lar) eylem tanıma dışındaki diğer uygulamalar için kullanılabilir ve veritabanındaki eylem parçasından görünüm veya 2B/3B iskeletler gibi ekli öznitelikleri sorgu video dizisindekine aktarılır.

Figürün hareketinin bir bütün olarak kullanılmadığına dikkat etmek gerekmektedir. Stabilizasyon adımı bu bilgiyi kasıtlı olarak atar. Uzak alanda, bu aslında hareketli bir figür blobu için mevcut olan tek bilgi olacaktır ve bu ipucundan yararlanma amacıyla entegre bir eylem tanıma sistemi için kesinlikle mantıklı olacaktır. Şeklin nesne tanımadaki rolünü daha iyi anlamak için rengin göz ardı edilebileceği gibi, şeklin farklı

konumları arasındaki görel hareketlere karşılık gelen mevcut "ekstra" bilgileri anlamak önemli olacaktır. Koşu bandındaki bir kişi veya kameranın bir oyuncuyu görüş alanında tutmak için pan yaptığı, figür blobunun genel hareketinin kullanılmadığı veya yanıltıcı olduğu gibi durumlar da vardır (Efros, Berg, Mori, & Malik, 2003).

KAYNAKLAR

- Anonim. (2022). https://docs.opencv.org/4.x/da/d22/tutorial_py_canny.html (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). <https://www.thinkautomation.com/eli5/eli5-what-is-image-classification-in-deep-learning/> (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). https://docs.opencv.org/3.4/d8/d01/group_imgproc_color_conversions.html (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). https://docs.opencv.org/3.4/dd/d1a/group_imgproc_feature.html (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). https://docs.opencv.org/4.x/da/d54/group_imgproc_transform.html (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). https://docs.opencv.org/3.4/d9/db0/tutorial_hough_lines.html (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). https://docs.opencv.org/3.4/d4/da8/group_imgcodecs.html (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). https://docs.opencv.org/4.x/d7/d1b/group_imgproc_misc.html (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). <https://numpy.org/doc/stable/user/whatisnumpy.html> (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). <https://opencv.org/about/> (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). https://docs.opencv.org/3.4/d2/de8/group_core_array.html (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). https://soccerment.com/wp-content/uploads/2020/07/handbook_fa.pdf (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Anonim. (2022). https://docs.opencv.org/3.4/de/d62/tutorial_bounding_rotated_ellipses.html (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Canny, J. F. (1986, aralık). A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, s. 679-698.
- Efros, A. A., Berg, A. C., Mori, G., & Malik, J. (2003). Recognizing Action at a Distance. *IEEE International Conference on Computer Vision*. Nice.
- Laureano, G. T., & Coelho, C. J. (2015). *A topological approach for detection of chessboard patterns for camera calibration*. <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/camera-calibration> (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)
- Lee, S. (2022, Ocak 31). *Understanding Homography (a.k.a Perspective Transformation)*. Towards Data Science: <https://towardsdatascience.com/understanding-homography-a-k-a-perspective-transformation-cacaed5ca17> (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)

- Lyu, W., Zhou, Z., Chen, L., & Zhou, Y. (2019). A survey on image and video stitching. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*.
- Niola, V., Rossi, C., & Savino, S. (2006, Nisan). Perspective Transform and Vision System for Robotic Applications. *WSEAS Transactions on Systems* 5(4), s. 87-91.
- Qi, W., Li, F., & Zhenzhong, L. (2010). Review on Camera Calibration. *2010 Chinese Control and Decision Conference*, (s. 3354-3355). Xuzhou, China.
- Stankiewicz, O., & Domański, M. (2018). Multiview video: Acquisition, processing, compression, and virtual view rendering. *Academic Press Library in Signal Processing, Volume 6*.
- Suliman, C., Puiu, D., & Moldoveanu, I. (2009). Single Camera Calibration in 3D Vision. *The Annals of "Dunarea De Jos" University of Galati Fascicle III, Vol. 32, No. 2, 1221-454X*, 70.
- Zhang, Z. (1998, Şubat 2). *A Flexible New Technique for Camera*.
<https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/tr98-71.pdf> (Erişim tarihi: **1 Eylül 2022**)

