

# ROBOCUP SMALL SIZE KATEGORİSİ VE GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMİ

Robocup SSL(Small Size League) için, ROBOCUP yarışma kategorileri arasında günümüz futboluna en çok yaklaşan kategoridir demek yanlış olmaz sanırım. Çünkü robotların hızı, oyun içerisinde sergilediği hareketleri ve oyun zekâsı günümüz futboluna yakındır. Diğer kategorilere göre çok daha hızlı bir oyun gerçekleşir ve robotların mekanik tasarımı, üretilen oyun stratejilerinin gerçekleştirilmesine en elverişli kategoridir. Örnek vermemiz gerekirse mekanik olarak iyi tasarlanmış robotlarla bu kategoride aşırma pas atmak ya da aşırma şut çekmek mümkündür. Projeye bu açıdan bakıldığında geliştirenler olarak bu işten fazlasıyla zevk aldığımızı söyleyebilirim.

## Oyun Alanı ve Bazı Kurallar

Oyun, futbol sahası görünümünde 5000 x 3500 mm<sup>2</sup>'lik bir alanda her takımdan 5'er robotla ve golf topu büyüklüğünde turuncu bir topa oynanır.

Robotlar 180 x 180 mm<sup>2</sup> genişliğinde ve 150 mm yüksekliğindedir. Her robotun üzerinde anlamlı renklerde ve eşit alanlı daire biçiminde işaretçiler bulunur. Robotların tam ortasında takımını belirten sarı veya mavi renkli, kenarlarda yönelimini ve takım içerisinde hangi robot olduğunu belirten yardımcı işaretler yer alır.



Her robotta topu sürmek, tutmak ve vuruş yapmak için tasarlanmış mekanik yapılar bulunur. Fakat bu mekanik tasarım üstten bakıldığında topun en az %80'i görünecek şekilde tasarlanmaktadır.

Görüntü işleme sistemi için iki farklı seçenek mevcut. Bunlar: Her robot üzerinde yer alan kameralarla yapılan yerel görüntü sistemi, diğeri ise bizim de kullanmakta olduğumuz kameranın sahanın üzerinde olduğu global görüntü sistemi.

## Ana Sisteme Genel Bakış

### - Görüntü İşleme Sistemi

Oyun sahasının 4 m üstünde yer alan kameralar aracılığıyla elde edilen görüntü, görüntü işleme sisteminde analiz edilir ve oyunun anlık bilgisi çözümlenir.

### - Yapay Zeka Sistemi

Görüntü işleme sisteminden elde edilen bilgilerin yorumlandığı ve oyunla ilgili stratejilerin üretildiği bölümdür. Bu katmanda hücum ya da savunma kararları, şut atma, hareket yönü, hızı gibi stratejik kararlar üretilir.

### - Haberleşme Sistemi

Yapay zeka sisteminden alınan emirler RF (Radio Frequency) haberleşme ile robotlara iletilir.

### - Robotlar

Haberleşme sisteminden alınan bilgilerin mikrokontrolörler ile yorumlanarak hareketleri gerçekleştiren motorlara aktarıldığı elektrik ve mekanik sistemi içeren birimdir.

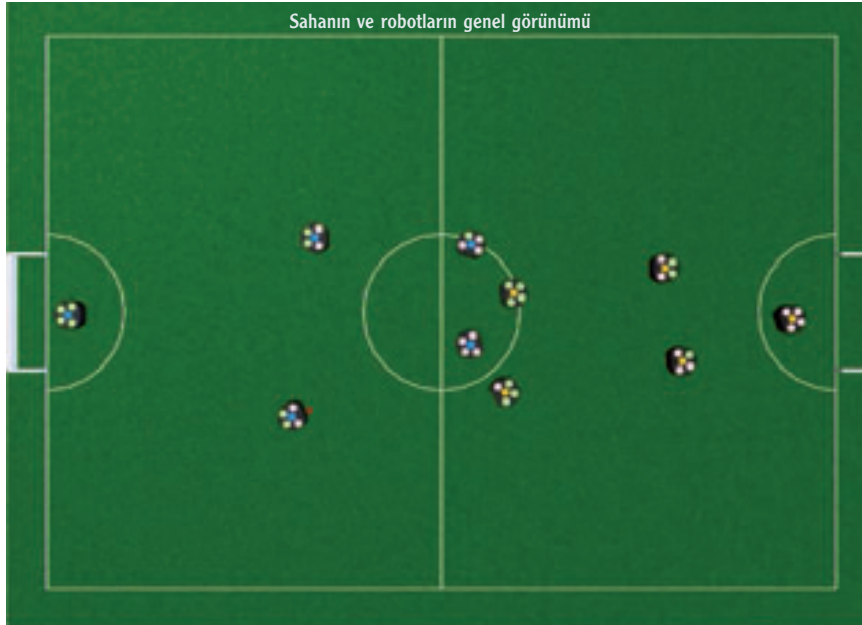
## Görüntü İşleme Sistemi

Kameralar aracılığı ile elde edilen sayısal görüntünün yüksek doğrulukta analiz edilmesi oyun için kritik öneme sahiptir. Bu sistem bir bakıma oyunun karar verici sistemler için çözülmesini ve oyun hakkında geri beslemenin elde edilmesini sağlar.

Oyunun analizi kısmını biraz daha açmamız gerekirse, görüntü işleme sisteminin temel görevleri olarak şunları sıralayabiliriz:

- Oyun sahasını, saha elemanlarını ( çizgiler, kaleler, santra noktası vb.) tespit etmek
- Robotları tespit etmek ve hangi takımın üyesi olduğunu belirlemek
- Robotların konumunu, yönelimlerini ve hızlarını tespit etmek
- Topu, topun konumunu, hareket yönünü ve hızını belirlemek

Görüntü işleme ile ilgili bütün işlemler kameradan gelen görüntünün (40-50 fotoğraf/saniye) belli aralıklarla yakalanması sonucu elde edilen sayısal fotoğrafların matris açılımları üzerinden gerçekleşir. Renkli olarak alınan görüntüde her bir pikselin (fotoğraftaki en küçük birim) 3 boyutlu RGB(Kırmızı - Yeşil - Mavi) uzayında bir değere



ri vardır. Örneğin siyah renk (0,0,0), beyaz renk (255,255,255), saf mavi renk (0,0,255) olarak değerlendirilir.

## İşlenecek Görüntünün Uygun Forma Getirilmesi

Sistemin görevlerini gerçekleştirme için RGB uzayında elde edilen görüntü matrisi üzerinde çeşitli filtreler uygulanarak görüntü istenilen forma dönüştürülür. Bunun nedeni görüntünün kullanılmayacak işaretlerden ve gürültülerden arındırılmasıdır. Oyun yüksek hızda devam ettiğinden yapılan analizlerin de gerçek zamandan minimum gecikmeyle gerçekleştirilmesi gerekir. Bu gereksinim de analiz için gerekli işlemlerde kullanılan algoritmaların sonucu oluşan hataların minimum olmasının yanında sistemin hızlı çalışmasını sağlama problemini beraberinde getirir. Örneğin, saha içerisinde yüksek hızda hareket eden topun konumunun çok yüksek doğrulukta elde edilmesi, eğer algoritmamız yavaş çalışıyorsa bizim için değersizdir. Topun konumu doğru tespit edilmiştir; fakat konum tespiti ile ilgili hesaplamaların sonuçlandığı anda top çok daha farklı bir yere gitmiş olabilir. Ana sistemin görüntü işleme sisteminden ibaret ol-

madığı, yapay zekâ, haberleşme, elektrik sistem ve mekanik sistemlerdeki gecikmenin de tepki süresini etkilediği hatırlandığında bunun önemi daha iyi anlaşılacaktır.

Görüntü ile ilgili işlemler sırasında kurallar ve teknolojik sınırlamalardan kaynaklanan ölçme hataları, bunun yanında bizim ürettiğimiz çözümlerden kaynaklanan yöntem hataları söz konusudur. Dolayısıyla, sonucu %100 doğrulukta tespit olanağımız yoktur.

$$\sum \mathcal{E} = \mathcal{E}_{ölçme} + \mathcal{E}_{yöntem}$$

Bu noktada bizim görevimiz toplam hatayı oluşturacak ölçme ve yöntem hataları arasında, bunun yanında toplam hata ile çalışma hızı arasında optimizasyon yapmaktır. Yani yöntem hatasını artırarak hızımızı yükseltmek bizim tercihimizdir. Fakat bu hatayı belli bir noktada sınırlandırarak tespitteki doğruluğun eşik değerinin altına inmemesini de sağlamamız gerekir.

## Robotların Tespit Edilmesi

Oyunu çözümlemek için kurulan algoritmaların yoğun matematiksel işlemler içerdiği düşünüldüğünde üzerinde çalışılacak verinin indirgenmesi gerekliliği ortaya çıkar. Bizim indirge-



melerimizden bir tanesi RGB uzayından S/B forma geçmektir. Bir robotun hangi takımın üyesi olduğunu belirlemek için mavi ya da sarı renk bilgisine ihtiyaç duyulur. Fakat görüntüdeki robotları tespit etmek için RGB bilgisine gerek duyulmaz. RGB uzayından S/B formuna indirgemeyi yaparak bir piksel için 3 farklı renk verisi yerine 0 - 255 arasında yer alan tek bir değeri işleme sokmak performansı artıracaktır.

Burada unutulmaması gereken bir nokta da filtre sonucu hangi nesne için tespit çalışmasını yaptığımıza bağlı olarak S/B hale getirmek için kullanacağımız katsayılar karar vermemiz gerektiğidir. Bir pikselin renk verisini S/B hale indirgemek için kullanacağımız fonksiyonu aşağıdaki gibi kabul edersek;

$$X_{s/b} = \frac{k_r \cdot X_r + k_g \cdot X_g + k_b \cdot X_b}{3}$$

## Robotist “Robotlar Yeşil Sahada”

"2050 yılında dünya şampiyonu insan takımına karşı 90 dakika mücadele edecek ve kazanacak, tamamen otonom robotlardan oluşan bir futbol takımı oluşturmak..." RoboCup hedefini böyle tanımlıyor. Kulağa bilimkurgu tadında bir cümle gibi geliyor fakat bu hedefin mevcut çalışmalara bakıldığında gerçekleşmesi bir o kadar da mümkün görünüyor.

RoboCup, amacı yapay zeka ve robotik bilimini geliştirmek olan uluslararası bir araştırma ve eğitim inisiyatiftir. Bu amaca yönelik, bir çok teknolojinin incelenip içine dahil edilebileceği, tüm dünyada yakından izlenen futbolu araştırma alanı olarak seçmiştir. 1997 yazında Japonya-Nogoya'da yapılan ilk resmi Robot Futbol Oyunları Dünya Kupası'nın ardından her sene çeşitli ülkelerde yarışmalar düzenlenmiş ve en son Temmuz 2007'de ABD-Atalanta'da gerçekleştirilen yarışmada 39 ülkeden 321 takım yer almıştır.

RoboCup içerisinde temel olarak 3 alan bulunmaktadır. Bunlar :

RoboCup Arama/Kurtarma : Afet koşullarında robotların dayanarak kendi başlarına stratejiler kurup arama kurtarma yapabilmelerini inceleyen alan

Robocup Genç : Daha çok üniversite öncesi gençlerin robotik alanına merak ve ilgilerini arttırmak amacıyla oluşturulan alan

Robocup Futbol: Tüm akademi çevreleri ve dünya tarafından merakla izlenen , futbol oynayan robot takımlarının yarıştığı alan

İstanbul Teknik Üniversitesi Robotik Takımı- ROBOTİST olarak RoboCup Futbol alanında küçük-boy(small-size) kategorisinde yarışmak üzere robotlar geliştiriyoruz. RoboCup içerisinde en dinamik ve en heyecanlı yapıya sahip bu kategoride yüksekliği 15cm'yi, çapı 18cm'yi geçmeyen 5'er robottan oluşan takımlar karşılaşmaktalar. Robotların mekanik, elektronik, yapay zekâ ve görüntü işleme fonksiyonlarının her birini gerçekleştirecek sistemi takımlar tasarlamakta, bu da kategorinin bir çok disiplinin geliştirilmesine katkıda bulunmasını sağlamaktadır.



2 yüksek lisans 10 lisans öğrencisinden oluşan takımımızla Avusturya, Graz'da yapılacak RoboCup 2009 Robot Futbol Oyunları Dünya Kupası'na katılmak üzere çalışmalarımıza başladık. Çalışmalarımızı Elektrik, Mekanik, Yazılım ve Organizasyon Ekibi olarak dört koldan yürütüyoruz. Projemizin danışmanlığını İTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı Öğretim Görevlisi Murat Yeşiloğlu yapmaktadır.

Hedefimiz katılacağımız yarışmada İstanbul Teknik Üniversitesi'ni ve Türkiye'yi en iyi şekilde temsil etmek, tüm süreç boyunca da edindiğimiz tecrübelerle robotik biliminin gelişimine ve sürekliliğine katkıda bulunmaktır. Araştırmalarımıza herkesin ulaşabilmesi için çalışmalarımızı yazılı hale getirerek tüm Türkiye ile paylaşmak da amaçlarımız arasında bulunmaktadır.

ROBOTİST olarak mevcut motivasyonumuz ve takım ruhumuzla RoboCup'ın 2050 hedefine ortak oluyoruz!

ROBOTİST - İTÜ Robotik Takımı  
www.robotist.itu.edu.tr  
robotist@itu.edu.tr

Renk katsayıları yani  $k_r$ ,  $k_g$ ,  $k_b$  bizim tarafımızdan belirlenir. Yukarıdaki görüntü robotların tespiti amacıyla oluşturulmuş bir filtre olduğundan  $k_g$  yani yeşil renk katsayısı yüksek tutulmuştur. Eğer sistemimizi ortamdaki ışık değişikliklerine karşı daha dayanıklı yapmak istiyorsak bu katsayıların adaptif olarak belirlenmesini sağlayabiliriz.

Robotları tespit etmek için homojen bölgelerin dış çeper analizi yapmamız gerekiyor. Fakat görüntü S/B haline getirildikten sonra yine robotları tespit ederken kullanmadığımız ve bizim için sorun oluşturacak veriler bulunur. Örneğin benzer alanlar (robot yüzeyi, saha) için renk verileri 0 - 255 arasında değişim gösterir. Oysa bizim amacımız bu çeşitliliği olabildiğince azaltmaktır. Bundan kurtulmak için renk bilgilerini iki değer alabilecek şekilde yeniden değiştirmektir. Bunu yaparken de kullanılan yöntem görüntüye "Eşik" filtresi uygulamaktır. Bu filtrede, pikselin renk verisi seçilen bir referans değerinin altında ise minimum değere, üstünde ise maksimum değere çekilir. Bu sayede ikili formatta (binary) resim oluşturulur. Robotların tespiti için beyaz alanların çeperini analiz ettiğimden "Eşik" filtresinin tümleyenini uyguladık.

$$\overline{TH} = X_{Binary} = \begin{cases} 255 & X_{S/B} < Th_{ref} \\ 0 & X_{S/B} \geq Th_{ref} \end{cases}$$

Burada  $Th_{ref}$  değerini, diğer parametrelerde olduğu gibi, kendimiz belirleyebiliriz ya da sistem tarafından ortam ışık şartlarına vb. göre belirlenmesini sağlayabiliriz. Eşik filtresi sonucu görüntü resimdeki gibi 0 ya da 255 değerlerini içeren formda oluşuyor.

Üzerinde çalışacağımız görüntü olabildiğince indirgenmiş haliyle elimizde fakat bir sorunumuz daha var. Bu da görüntü üzerinde robot olmayan fakat beyaz noktalar halinde görülebilecek gürültüler.



"Eşik" Filtresi uygulanmış görüntü



"Eşik" filtresi sonucu resimde kalmış gürültüler

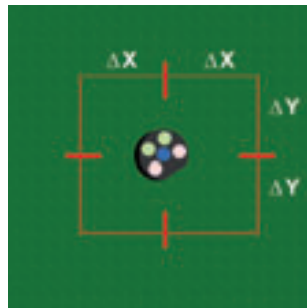
Görüntü üzerindeki bu gürültülerden kurtulmak için verimli bir yöntem olarak, beklediğimiz yarıçaptaki daireler dışında kalan işaretleri eleme yöntemi kullanılabilir. Ya da bu gürültüler erozyona uğratarak yani küçültülüp yok edilerek resimde sadece robotlar elde edilebilir. Tahmin edileceği gibi erozyonun iterasyon sayısı da sistem tarafından tespit edilebilir.

Tamamen robotların bulunduğu görüntüde dış çevre analizi yaparak tespit gerçekleştirilmiş olur.

## Robotların Tespit Edildikten Sonra İzlenmesi

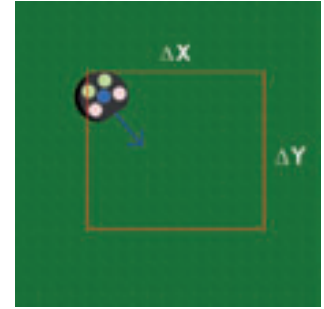
Daha önce de belirttiğim gibi robotların oyunun mevcut durumuna ve receği tepki süresindeki gecikmeleri en aza indirmek için sistemdeki geciktirici işlemlerden arındırmak gerekir. Geciktirici işlemlerden bir tanesi de kameradan gelen her görüntüde tek tek tespit işlemi yapmak, dolayısıyla uygulanan filtrelerin oluşturduğu gecikme süresini her fotoğrafın analizine eklemektir.

Kameradan gelen görüntünün tamamının analiz edilmesi yerine robotları başlangıç anında tespit edip daha sonra izlemek yine yaklaşımlarımızdan bir tanesidir. İzleme işlemi biraz daha açıklayacak olursak bir robotun  $t_0$  anındaki konumu  $(X_0, Y_0)$  ise  $t_0 + \Delta t$  anındaki konumu  $(X_0 + \Delta X, Y_0 + \Delta Y)$  olacaktır. Bu da şu anlama gelir, eğer  $\Delta X$  ve  $\Delta Y$  bilgisini yaklaşık olarak belirleyebiliyorsak, sadece o bölgeyi taramak görüntü işleme algoritmamızın performansını artırır.



Robotun  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  komşuluğu

Resimde görüldüğü üzere robotun  $\Delta t$  süre sonra bulunabileceği  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  komşuluğunu taramak tespit doğruluğunu değiştirmeyerek tespit süresini kısıltacaktır. Burada belirtilen sınırları kendimiz atayabileceğimiz gibi, robotun hızını biliyorsak, sisteme hesaplayabiliriz. Bu şekilde hızı az olan bir robotun tespiti için çok daha az alan taranmış olur. Eğer hareket yönünü de biliyorsak tarayacağımız alanın merkezini hareket yönünde kaydırabiliriz.



Hareket yönündeki  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  komşuluğu

Akla gelebilecek sorulardan bir tanesi, taranan alana başka bir robotun girmesi durumunda ne olacaktır. Eğer  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  komşuluğunda başka bir robot bulunuyorsa yanlış bir şekilde o robot tespit edilmiş olabilir. Bunu önlemek için de  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  parametrelerini iteratif olarak artırmak düşünülebilir.

## Değerlendirme

Robocup Small Size kategorisinde belirlenmiş kurallar çerçevesinde elde edilecek görüntü ve bu görüntüde meydana gelebilecek dış çevre kaynaklı ışık değişimlerinin sınırları bellidir. Bu yüzden matematiksel açıklımlara dayanan belli ihmaller yapmak mümkündür. ROBOTİST ekibi olarak geliştirdiğimiz görüntü işleme sisteminde çalışma hızını artırma amaçlı ihmaller yaptık. Şu an geldiğimiz noktada görüntü işleme sisteminden beklenen analizleri gerçek zamandan çok kısa bir süre gecikerek ve bu gecikme süresini daha da azaltarak çalışmalarımızı sürdürüyoruz. Aynı zamanda sistem parametrelerini daha önce bahsettiğim şekilde adaptif olarak güncelleyerek belirliyoruz.

Hasan Murat Akıncı  
İTÜ Robotik Takımı Yazılım Ekibi  
akinci@itu.edu.tr