

# Tüm Yönlü Kamera Kullanan Bir Mobil Robot ile Araç Altı Görüntüleme Sistemi

*Caner Şahin, Mustafa Ünel*

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi  
Mekatronik Programı  
Sabancı Üniversitesi, İstanbul  
{canersahin, munel}@sabanciuniv.edu

## Özetçe

Günümüzde üst düzey güvenlik önlemleri alınması gereken yerlerde araç alt gövdelerinin denetlenmesi önem kazanmaktadır. Bu bildiri, araç alt gövdelerinin denetlenmesi amacıyla tüm yönlü kamera kullanan yeni bir görüntüleme sistemi sunmaktadır. Bu sistemde perspektif kamera mobil robotun gövdesine monte edilmiş olan dışbükey bir aynaya doğru hizalanmıştır. Dışbükey ayna kamera optik ekseninin göstermiş olduğu yönün tersindeki alanın görüntülenmesine olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda tüm yönlü kamera araç alt gövdelerine gizlenmiş olan yabancı nesnelere tanınması ve araçların sınıflandırılması için kullanılmaktadır. Nesne tanıma algoritmasında görüntülerden çıkarılan Hızlandırılmış Gürbüz Özniteliklerden (SURF) faydalanılmıştır. Hızlı Görünüm Tabanlı Haritalama algoritması (FAB-MAP) araçları sınıflandırmak için kullanılmıştır. Önerilen sistemin deneysel çalışmaları laboratuvar ortamında yapılmıştır.

## 1. Giriş

Hükümet binaları, askeri kamplar, gümrük kapıları, alışveriş merkezleri gibi alanlarda araçlardan kaynaklanan tehlikeli durumları engellemek için araç alt gövdelerinin görüntülenmesi, araç altına gizlenmiş olan nesnelere tanınması ve araçların sınıflandırılması gerekmektedir. Bu görevlerin yerine getirilmesinde temel zorluk araç alt gövdelerinin görüntülenmesidir. Standart perspektif kameralardaki sınırlı görüş alanı görüntüleme işlemini oldukça zorlaştırmaktadır. Bir aracın alt gövdesini standart sistemlerle görüntülemek için farklı yönelimlere sahip birden fazla perspektif kamera ya da bulunduğu yerde dönebilen geniş çalışma alanına sahip bir perspektif kamera kullanmak gerekmektedir. Diğer yandan, tüm yönlü kameraların 360 derece görüş alanına sahip olması ve tüm yönlü görüntüler alabilmesi neticesinde araç alt gövdeleri tek bir tüm yönlü kamera ile kolaylıkla görüntülenir ve gizlenmiş olan nesnelere tanınır araçlar sınıflandırılabilir. Tüm yönlü kameraların bu özelliği standart perspektif kameraların getirmiş olduğu dezavantajları ortadan kaldırır. Elde edilen görüntülerden çıkarılan gürbüz özniteliklerin sayısındaki artış, nesne tanıma ve sınıflandırma işlerinde kararlılığı sağlar.

Tüm yönlü bir kamera sistemi parabolik, küresel, eliptik ya da hiperbolik ayna ve perspektif kameradan oluşmaktadır. Tüm yönlü kamera sistemleri merkezi ve merkezi olmayan

sistemler olmak üzere iki grup altında incelenir. Merkezi tüm yönlü bir kamera sisteminde dışbükey ayna tek bir iz düşüm merkezi olan perspektif bir kamera ile hizalanmıştır. Merkezi tüm yönlü kameralar hakkında daha geniş bilgi edinmek isteyen okuyucular [1, 2] makalelerine başvurabilirler. Perspektif kamera ile dışbükey ayna arasındaki hizalama hataları, dışbükey ayna çeşitlerindeki yapısal bozukluklar tüm yönlü kameraların merkezi olma özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir [3]. Dolayısı ile uygulamada, tüm yönlü kamera sistemleri birden çok efektif bakış açısına sahip oldukları için merkezi olmayan tüm yönlü kameralar olarak değerlendirilmelidir. Birden fazla tüm yönlü kamera kullanılması durumunda çeşitli görevler için değişik tüm yönlü görüntüleme sistemleri tasarlanmıştır. Bir araca monte edilmiş tüm yönlü-perspektif ve tüm yönlü-tüm yönlü kamera sistemleri [4]' teki çalışmada tanıtılmaktadır. Lui ve Jarvis [5] makalesinde taban çizgisi değiştirilebilen düşey düzlemde hizalanmış stereo tüm yönlü kamera sistemini sunmaktadır. Gandhi ve Trivedi [6] makalesinde bir aracın yakın çevresini görüntüleyen tüm yönlü stereo kamera sistemi tasarlanmaktadır. [7]' deki çalışmada üç tüm yönlü kamera birleştirilmektedir ve bir aracın etrafındaki üç boyutlu öznitelikler kullanılarak aracın ego-hareket tahmini ile konumlandırılmasındaki gürbüzlüğü artırılmaktadır.

Araç altı görüntüleme sistemleri için farklı yaklaşımlar sunulmaktadır. [8] bildirisinde çeşitli perspektif görüntüler için imge mozaik üretim tekniği kullanan bir araç denetleme sistemi sunulmaktadır. Araç altlarını denetlemek amacıyla gövdesine üç boyutlu uzaklık sensörü yerleştirilmiş bir mobil robot [9]' daki çalışmada önerilmektedir. Güvenlik önlemlerini güçlendirmek için araç tanıma ve denetleme sistemleri [10] bildirisinde birlikte kullanılmıştır. Bununla birlikte, önerilen çözümlerin büyük çoğunluğunda çeşitli bilgisayarla görme ve görüntü işleme algoritmaları standart perspektif kameralar ile birlikte kullanılmaktadır.

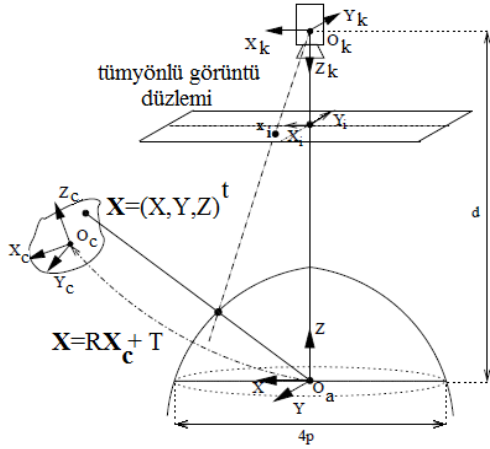
Bu bildiride, araç alt gövdelerinin görüntülenmesi amacıyla tüm yönlü kamera kullanan yeni bir görüntüleme sistemi sunulmaktadır. Aynı zamanda gizlenmiş olan nesnelere tanınması ve araçların sınıflandırılması sağlanmaktadır. Görüntüleme sistemi bir mobil robotun gövdesine monte edilmiştir. Mobil robot aracın altında hareket ederken araç alt gövdelerine gizlenmiş olan nesnelere veri tabanında bulunan görüntülerle karşılaştırılarak tespit edilir. Aralarında bir çizgi çizilerek nesnenin tanındığı uyarısı verilir. Hızlı Görünüm Tabanlı Haritalama (FAB-MAP) [11] algoritması kullanılarak araçlar sınıflandırılır.

Bildirinin organizasyonu şu şekildedir: İkinci bölümde, görüntüleme modeli ve önerilen sisteminin tasarımı anlatılacaktır. Üçüncü bölümde, nesne tanıma algoritması sunulacaktır. Dördüncü bölümde, araçların sınıflandırılması için kullanılan FAB-MAP algoritmasına yer verilecektir. Beşinci bölümde deneysel sonuçlar özetlenecek, altıncı bölümde sonuçlar ve gelecek çalışmalar ile bildiri sonlandırılacaktır.

## 2. Tüm Yönlü Kamera Sistemi

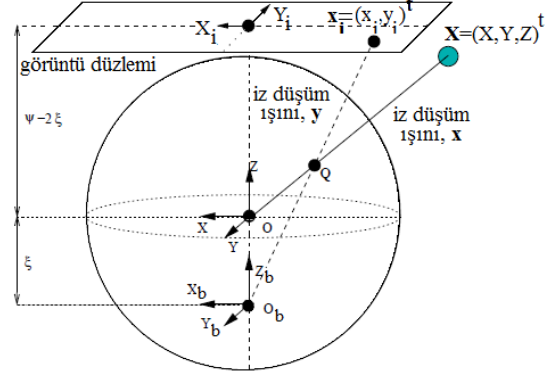
### 2.1. Tüm Yönlü Kamera Modeli

Tüm yönlü kamera sistemlerinin tasarımında değerlendirilmesi gereken önemli bir özellik dışbükey aynanın şeklinin belirlenmesidir. Seçilecek olan dışbükey ayna tek efektif bakış noktası şartını sağlamalıdır. Bu bildiride sunulmuş olan tüm yönlü görüntüleme sisteminde hiperbolik dışbükey ayna ve [12] makalesinde gösterilen iz düşüm modeli kullanılmaktadır. Şekil 1’ de katı bir cismin merkezi hiperbolik ayna ile tüm yönlü iz düşümü gösterilmektedir. Bu şekilde  $O_c$  cisim koordinat sistemini,  $O_a$  ayna koordinat sistemini,  $O_k$  kamera koordinat sistemini,  $d$  tüm yönlü kamera sistemin iç ve dış odak noktaları arasındaki uzaklığı,  $4p$  hiperbolik yüzeyin öz kiriş uzunluğunu göstermektedir. Cisimden  $O_a$  (iç odak noktası) doğrultusunda gelen ışınlar,  $O_k$  (dış odak noktası) noktasına yansıtılır. Perspektif kameranın iz düşüm merkezi  $O_k$  ile çakıştırılmışsa, görüntülenen cisimden gelen ışınlar hiperbolik aynanın iç odak noktası doğrultusunda ilerlemek zorundadır. Görüntülenen nesnenin efektif bakış noktası  $O_a$  noktasıdır.



Şekil 1: Katı bir cismin merkezi hiperbolik ayna ile tüm yönlü iz düşümü

Şekil 1’ deki  $\mathbf{X} = (X, Y, Z)^t$  noktasının tüm yönlü görüntü düzlemindeki iz düşümü  $\mathbf{x}_i = (x_i, y_i)^t$  noktasıdır. Bu görüntü oluşumu Şekil 2’ de gösterilen şema ile modellenmektedir.  $O$  efektif bakış noktasında merkezlenmiş olan birim kürenin görüntü düzleminde uzaklığı  $Z = \psi - 2\xi$  ve  $O_b$  koordinat sisteminin  $O$  noktasına uzaklığı  $Z = -\xi$  dir. Modelde kullanılan  $\xi$  ve  $\psi$  değerleri ayna parametreleri olup  $p$  ve  $d$  nin fonksiyonudur. Farklı yansıtıcı yüzeyler için bu parametreler Tablo 1’ de sunulmuştur.  $\mathbf{X}$  noktasından  $O$  noktası doğrultusunda gelen iz düşüm ışını  $\mathbf{x}$ , birim küreyi



Şekil 2: Merkezi tüm yönlü görüntü modeli [12]

$Q = \left( \frac{x}{\|X\|}, \frac{y}{\|X\|}, \frac{z}{\|X\|} \right)^t$  noktasında kesmektedir. Bu eşitlikte  $\|X\| = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$  dir.  $Q$  ve  $O_b$  noktalarını kesen ikinci bir iz düşüm ışını  $\mathbf{y}$  tanımlanır.  $\mathbf{y}$  ışınının görüntü düzlemi ile kesişim noktası olan  $\mathbf{x}_i$ , üç boyutlu uzaydaki  $\mathbf{X}$  noktasının tüm yönlü görüntüsüdür. Sonuç olarak üç boyutlu uzaydan iki boyutlu tüm yönlü görüntü uzayına haritalama aşağıda gösterilen eşitlikle verilmektedir:

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{f}_i(\mathbf{X}) = \left( \frac{x}{z + \xi\|X\|}, -\frac{y}{z + \xi\|X\|} \right)^t \quad (1)$$

Tablo 1: Ayna parametreleri

Ayna yüzeyi	$\xi$	$\psi$
Parabolik	1	$1 + 2p$
Hiperbolik	$\frac{d}{\sqrt{d^2 + 4p^2}}$	$\frac{d + 2p}{\sqrt{d^2 + 4p^2}}$
Eliptik	$\frac{d}{\sqrt{d^2 + 4p^2}}$	$\frac{d - 2p}{\sqrt{d^2 + 4p^2}}$
Düzlemsel	0	1

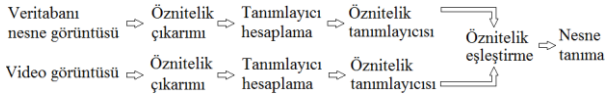
### 2.2. Tüm Yönlü Kamera Sistemi

Bu bildiride sunulan kamera sistemi hiperbolik ayna ve perspektif kameradan oluşmaktadır. Hiperbolik ayna bir pleksiglas levha üzerine yapıştırılmış ve dört tarafı saydam pleksiglas boru içinden geçirilerek borunun tabanına yerleştirilmesi sağlanmıştır. Borunun üst kısmı merkezinde oyuk bölge olan bir saydam pleksiglas levha ile kapatılmıştır. Perspektif kameranın optik eksenini borunun tabanında bulunan aynaya doğru yönlendirebilir şekilde borunun üst kısmındaki oyulmuş bölgeye yerleştirilmiştir. Tasarlanmış olan tüm yönlü kamera sistemi mobil robotun gövdesine monte edilmiştir. Bu sistemin temel avantajı, standart perspektif kameralar ile kolayca görüntülenemeyecek olan araç alt gövdelerinin görüntülenmesidir. Diğer avantajları şu şekilde sıralanabilir: Görüş alanı genişletilir ve sonucunda mobil robot hareket ettiği sürece sadece ön tarafı değil; aynı zamanda robotun sağ, sol ve arka tarafı da görüntülenebilmektedir. Tek bir tüm

yönlü görüntüden çıkarılan özneliklerin sayısı perspektif kamera ile elde edilen görüntüden sayıca fazladır. Dolayısı ile birbirini takip eden iki tüm yönlü görüntü arasındaki öznelik eşleşmesi, nesne tanıma ve sınıflandırma bakımından daha doğru sonuçların elde edilmesine olanak tanımaktadır.

### 3. Nesne Tanıma

Standart bir nesne tanıma sisteminde, test nesnesinden çıkarılan öznelikler nesne modeli veri tabanından çıkarılan özneliklerle eşlenir ve bu işlem Şekil 3’de gösterilmektedir. Nesne tanıma işleminde iki temel yaklaşım mevcuttur: model tabanlı tanıma ve görünüm tabanlı tanıma. Model tabanlı tanıma işleminde bir nesnenin modeli kullanılmaktadır. Bu model, üç boyutlu uzaydan kamera koordinat sistemine dönüştürülmek üzere bir dizi geometrik dönüşümlere maruz bırakılır. Bu yaklaşımda uygulanan geometrik dönüşümlerin tahmin edilmesi birçok model tabanlı tanıma sistemlerinin temelini oluşturur. Diğer yandan, görünüm tabanlı nesne tanıma yaklaşımı bir nesne hakkında önceden bilinmesi gereken herhangi bir data gereksinim duymamaktadır. Görünüm tabanlı yaklaşım, bilinmeyen ortamlarda kullanılan eş zamanlı haritalama ve konumlandırma gibi algoritmalar için uygundur. Ölçekten Bağımsız Öznelik Dönüşümü (SIFT) çıkarılan özneliklerin rotasyon, ölçekleme ve bakış noktasındaki değişimlerden etkilenmesini engellemektedir [13] ve görünüm tabanlı nesne tanıma işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

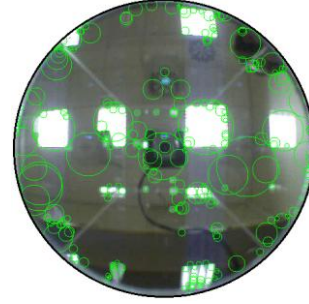


Şekil 3: Nesne tanıma

#### 3.1. Hızlandırılmış Gürbüz Öznelik (SURF) Çıkarımı ve Eşleşmesi

SURF tanımlayıcıları öznelik noktası komşuluğunda Haar dalgacıklarının dağılımını ifade etmektedir. Hessian matrisinin hesaplanmasına dayanır ve hesaplama süresini düşürmek amacıyla integral görüntülerini kullanmaktadır. [14]’te çalışmada SURF tanımlayıcılarının üç değişik versiyonu incelenerek SIFT öznelikleri ile karşılaştırılmıştır:  $64 \times 1$  sütun matrisi ile gösterilen standart SURF tanımlayıcıları,  $128 \times 1$  sütun matrisi ile belirtilen genişletilmiş SURF tanımlayıcıları ve  $64 \times 1$  sütun matrisi ile ifade edilen ve rotasyondaki değişimlerden etkilenen dikey SURF (U-SURF) tanımlayıcıları. Üç farklı tanımlayıcıların performansı değerlendirildiğinde SURF, genişletilmiş SURF ve U-SURF özneliklerinin çıkarımı sırasıyla 354ms, 391ms ve 255ms’de gerçekleşmektedir. Bununla birlikte SIFT özneliklerinin çıkarımı için geçen süre 1036ms’dir. SURF ve SIFT özneliklerinin hesaplama sürelerini göstermek için yapılan diğer bir karşılaştırmada, SURF özneliklerinin çıkarımı 250ms’de gerçekleşirken SIFT özneliklerinin çıkarımı için 1000ms harcanmaktadır. SURF özneliklerinin rotasyon ve ölçeklemedeki değişimlerden etkilenmemekle birlikte diğer öznelik çıkarım metodlarına göre daha hızlı bir şekilde hesaplanması sonucu bu bildiride nesne tanıma işleminde

SURF öznelikleri kullanılmıştır. Tüm yönlü bir görüntüden çıkarılan SURF öznelikleri Şekil 4’de gösterilmektedir. Bu görüntüde 241 adet SURF özelliği çıkarılmıştır.



Şekil 4: Tüm yönlü bir görüntüden çıkarılan SURF öznelikleri

Veri tabanı nesne görüntüleri ve test nesnelerinden çıkarılan SURF öznelikleri arasında en yakın komşuluk eşleşme (NNM) algoritması uygulanmaktadır. Test görüntüsündeki bir özneliğin tanımlayıcı vektörü ile veri tabanı nesne görüntüsünden çıkarılan özneliklerin tanımlayıcı vektörleri arasındaki Öklid uzaklığı karşılaştırılır. Bu çalışmada kullanılan öznelik tanımlayıcı vektörü 64 elemandan oluşmaktadır ve  $64 \times 1$  sütun matrisi ile ifade edilmektedir.

### 4. Araç Sınıflandırma

Araç alt gövdeleri kullanılarak yapılan sınıflandırmada FAB-MAP algoritmasından faydalanılmaktadır. Bu bölümde özetlenecek olan FAB-MAP algoritması konum tanıma işleminde kullanılmaktadır. Bu algoritma çevrim kapama ve algısal örtüşme gibi problemlere görünüm tabanlı olasılıksal çözüm sunmaktadır ve bu problemlerin standart genişletilmiş Kalman filtresi yaklaşımları ile çözümlenmesi oldukça güçtür.

Konum tanıma işleminde, üç boyutlu dünya ayrık konumlardan oluşacak şekilde modellenir. Her konum görünüm kelimeleri kullanılarak tanımlanan olasılık dağılım fonksiyonları ile ifade edilir. Görüntülerden çıkarılan öznelikler, kelimelere dönüştürülür. Bu kelimeler kullanılarak bir sözlük oluşturulur. Aynı zamanda, her bir konumun haritaya önceden dahil edilmiş bir konum olma olasılığı araştırılır.

Sözlük modelinde, görüntüler bir tür doküman olarak ifade edilip yerel tanımlayıcılar takımı içermektedir. Görüntülerden görsel kelimeler elde etmek amacıyla, tanımlayıcıların öznelik uzayı nicemlenmelidir. Böylelikle, görüntülerden elde edilen öznelikler birleştirilerek kelimeler ve kelimelerin bir araya getirilmesi ile birlikte sözlük oluşturulur. Tanımlayıcı vektörleri görsel kelimeler olarak nicemlendikten sonra, vektör modellerine indeks atama ve ağırlık verme işlemleri uygulanır:  $k$  kelime içeren bir sözlükte, her dokümanın tüm bileşenleri belirli ağırlıklar verilmiş  $k$  boyutlu bir vektör  $V_d = (t_1, \dots, t_i, \dots, t_k)^T$  ile tanımlanır. Bu bildiride, sözlük modeli oluşturmak için SURF öznelikleri ve tanımlayıcıları kullanılmaktadır.

Çevrim kapama, önceden görülmüş olan herhangi bir konumun o konumla tekrar karşılaştırılması durumunda tanınmasıdır. Kamera gibi görsel sensör ile donatılmış olan bir mobil robot çevrim kapama tanımlanması durumunda bulunduğu konumun bilgisine veri tabanında sahip olmaktadır. Dolayısı ile robotun karşılaşmış olduğu konum veri tabanındaki konum bilgileri ile karşılaştırılarak kapanacak olan çevrim algılanmaktadır. Açık bir şekilde ifade etmek için şu örnek verilebilir: Daha önce ziyaret edilmemiş bir adaya kamp kurmak için gidilsin. Kamp alanında keşif yapmak üzere herhangi bir yörünge takip edildiğinde başlangıçta zihinsel olarak pozisyon bilgisi tahmin edilebilir ancak belirli bir süre sonra kamp alanına göre konum bilgisini tahmin etmek oldukça zorlaşır. Bunun yerine, çembersel bir yörüngede dolaşılın ve önceden görülen yerlerden tekrar geçilsin. Bu yerlerin hatırlanması takip edilen yörünge tahminini ve başlangıç noktasına göre konum bilgisinin daha kolay elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu bildiriye, çevrim kapama problemi görüntülerden çıkarılan bilgiler kullanılarak çözülmektedir. Videodan elde edilen görüntülerin robot veri tabanında bulunup bulunmadığı incelenmektedir. Eğer karşılaşılan konum önceden veri tabanına eklenmiş bir konum bilgisi ise bu konum için çevrim kapama tanımlanmaktadır. Çevrim kapama hakkında daha detaylı bilgiye sahip olmak isteyen okuyucular [11]'deki makaleye başvurmalıdır.

## 5. Deneysel Sonuçlar

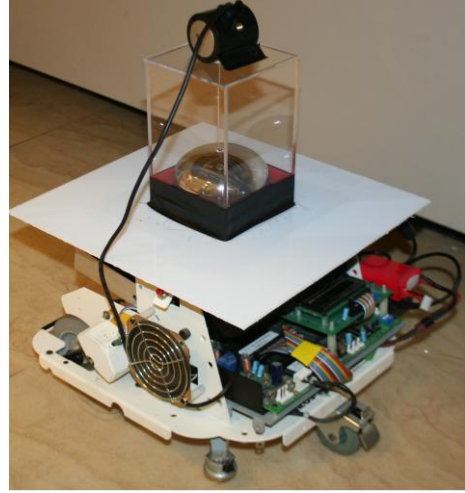
Bu bildiriye, araç alt gövdelerinin görüntülenmesi, gizlenmiş olan nesnelerin tanınması ve araçların sınıflandırılması için önerilen çözüm, laboratuvar ortamında bir mobil robot kullanılarak uygulanmaktadır. Deneysel çalışmalarımızda laboratuvarında bulunan masaların alt kısmı araç alt gövdeleri olarak kabul edilmektedir. Farklı araçlara ait alt gövde görüntüleri masaların alt kısımlarına yapıştırılıp mobil robotun masa alt kısımlarında hareket etmeleri sağlanmaktadır. Bu uygulamalarda tüm yazılım çalışmaları mobil robotun gövdesine monte edilen bilgisayarda kurulu Microsoft Visual C++ programında OpenCV 2.4.4 kütüphanesi ile gerçekleştirilmiştir.

### 5.1. Deneysel Düzenineği

Deneysel çalışmalarda kullanılan mobil robot bir işlemci, bir gömülü bilgisayar, bir tüm yönlü kamera sistemi ve şarj edilebilir lityum polimer (Li-Po) pillerden oluşmaktadır. Deneysel düzenineği Şekil 5' de gösterilmektedir. İşlemci ve bilgisayarın çalışması için gereken güç 14.8 V Li-Po pil aracılığıyla sağlanmaktadır. İşlemci, mobil robotu hareket ettirmek için kullanılan kontrol kodlarını mobil robotu iletmek için kullanılmaktadır. Tüm yönlü kamera sistemi gömülü bilgisayara bağlanmıştır. Mobil robot işlemcisi ve bilgisayar arasındaki data transferi RS-232 haberleşme protokolü ile sağlanmaktadır. Gömülü bilgisayar ve bir laptop arasında ağ kurulmaktadır. Laptop, kamera sonuçlarını ekranda görüntüleyebilmek için harici bir cihaz olarak kullanılmaktadır.

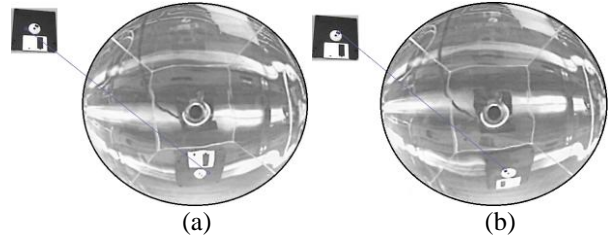
### 5.2. Nesne Tanıma Sonuçları

Mobil robotun masaların altında hareket etmeye başlaması ile birlikte masa alt kısımlarına bağlanmış olan araç alt gövdeleri görüntülenmektedir. Bir masanın altına robot veri tabanında



Şekil 5: Deneysel düzenineği

görüntüsü bulunan bir test nesnesi bağlanmakta ve mobil robotun bu nesneyi tanıması sağlanmaktadır. Bu uygulamada veri tabanındaki görüntülerden ve video görüntülerinden çıkarılan ve eşlenen öznitelikler SURF öznitelikleridir. Hatalı olarak eşlenen SURF öznitelikleri Rastgele Örnekleme Konsensüsü (RANSAC) algoritması ile ihmal edilir. Tüm yönlü görüntüdeki gizlenmiş olan nesnenin tanınması, veri tabanındaki görüntü ve test nesnesi arasında Şekil 6' da gösterildiği gibi bir çizgi çizilerek belirtilmektedir.



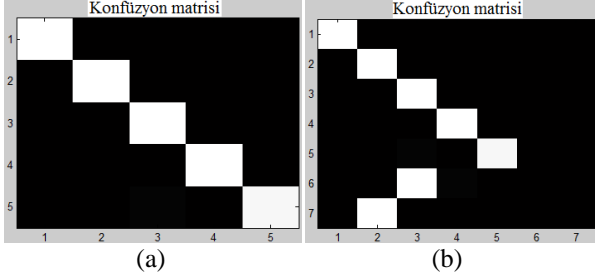
Şekil 6: Tanınmış nesneler

### 5.3. Araç Sınıflandırma Sonuçları

Araçların sınıflandırılması için yapılan ilk deneyde, FAB-MAP algoritmasının doğruluğunu göstermek amacıyla elde taşınabilen bir perspektif kamera ile alınan araç alt gövde görüntüleri kullanılmaktadır. Beş farklı araç altı görüntüsü ile konfüzyon matrisi hesaplanmakta olup elde edilen matris Şekil 7' de gösterilmektedir. Yeni bir konum ile karşılaşıldığında matrisin ilgili köşegen elemanına yüksek olasılık değeri atanmaktadır ve bu eleman matris içerisinde diğer elemanlara oranla parlak bir renk ile belirtilmektedir. Çevrim kapama algılandığı zaman matrisin köşegen dışı elemanları kullanılarak parlak bir renk ile ifade edilmektedir.

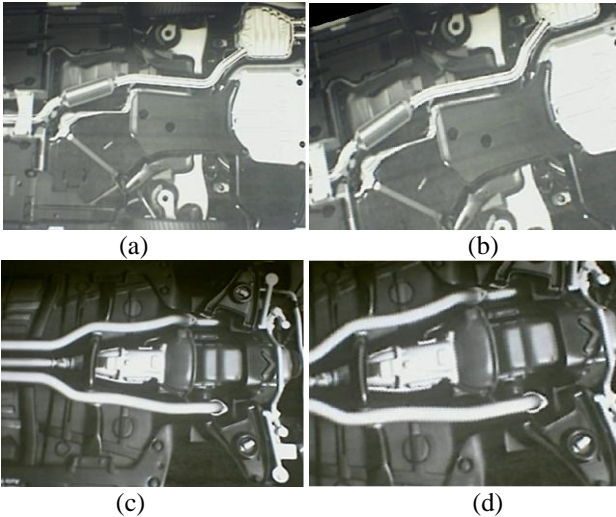
Örneğin, algılanan üçüncü pozisyon birinci pozisyon ile aynı ise, sonuç olarak elde edilecek konfüzyon matrisinin üçüncü satır-birinci sütun elemanına yüksek olasılık değeri atanmaktadır ve kapanan çevrimi belirtmek amacıyla diğer elemanlara oranla parlak bir renkle gösterilmektedir. Şekil 7 (a)' da gösterilen matriste, tüm köşegen elemanlar köşegen dışı elemanlara oranla parlak bir renk ile ifade edilmektedir. Bu

matris karşılaşılan tüm konumların birbirinden farklı olduğunu ve herhangi bir çevrim kapamanın algılanmadığı belirtmektedir. Dolayısı ile beş görüntü farklı araç alt gövdelerine ait olup bu araçlar beş farklı grupta sınıflandırılmaktadır. Üçüncü ve beşinci araç alt gövde görüntülerinin yeni bir konum olma olasılığı sırası ile 0.992458 ve 0.9681' dir.



Şekil 7: Konfüzyon matrisleri: (a) beş ayrıık konumun farklı araçlara ait olma durumu, (b) altı ve yedinci ayrıık konumlarda kapanan çevrimler

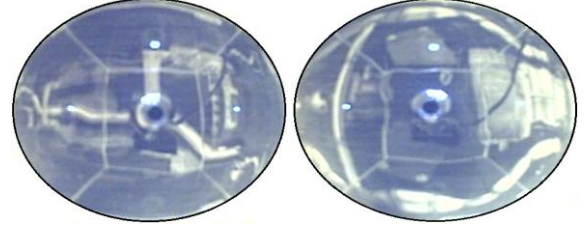
İkinci deneyde kapanan çevrimlerin algılandığını göstermek için farklı görüntüler kullanılmaktadır ve elde edilen konfüzyon matrisi Şekil 7 (b)' de gösterilmektedir. Aynı zamanda algılanan çevrim kapama görüntüleri Şekil 8' de gösterilmektedir. Şekil 8 (a) ve (b)' de bir araç alt gövdesinin farklı görüntüleri sırasıyla üçüncü ve altıncı konumlar için gösterilirken Şekil 8 (c) ve (d)' de farklı bir araç altı görüntüleri sırasıyla ikinci ve yedinci konumlar için verilmektedir. Üçüncü ve altıncı konumlar için çevrim kapama olasılığı 0.98697 iken altıncı görüntünün yeni bir konum olarak algılanma olasılığı 0.01666' dir. Aynı şekilde, ikinci ve yedinci konumlar için çevrim kapama olasılığı 0.991226 iken yedinci görüntünün yeni bir konum olarak algılanma olasılığı 0.001428' dir. Bu yedi araç, altı ve yedinci adımlarda algılanmış olan iki farklı çevrim kapama sonucu beş farklı grupta sınıflandırılabilir. Çevrim kapama, araçların



Şekil 8: Çevrim kapama tanımlamaları: altıncı ayrıık konum için (a) ve (b) arasında çevrim kapama, yedinci ayrıık konum için (c) ve (d) arasında çevrim kapama

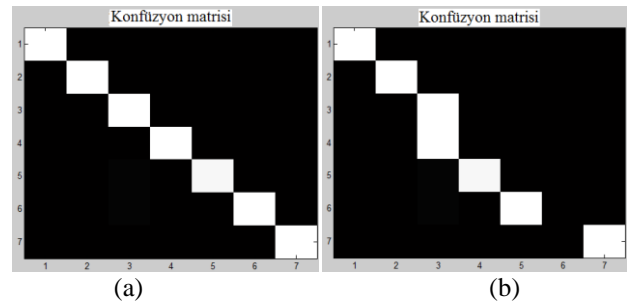
sadece alt gövdeleri kullanılarak sınıflandırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu uygulamada Open FAB-MAP algoritması kullanılmaktadır [16].

Üçüncü deneyde, mobil robota monte edilmiş tüm yönlü kamera sistemi kullanılarak yedi farklı araç altı görüntüsü kullanılmaktadır. Şekil 9' da tüm yönlü araç altı görüntüleri örnek olarak verilmektedir. Bu şekilde gösterildiği gibi her farklı araç alt gövdesi için farklı bir konum atanmıştır.



Şekil 9: Araç alt gövdelerinin tüm yönlü görüntüleri

Öncelikli olarak yedi araç alt gövdesinin tüm yönlü görüntüleri alınarak konfüzyon matrisi elde edilmiştir ve Şekil 10 (a)' da belirtilmektedir. Yedi görüntünün birbirinden farklı olması neticesinde, matrisin köşegen elemanları parlak olarak gösterilmektedir ve her bir elemana yüksek olasılık değeri atanmaktadır. Bu durum ardı ardına görüntülenen araç altlarının birbirinden farklı olduğunu ifade etmektedir ve araçlar yedi farklı grupta sınıflandırılır. Örneğin, ikinci ve beşinci ayrıık konumların yeni bir araç altı olma olasılıkları sırasıyla 0.997 ve 0.995' dir. Tüm yönlü görüntülerde çevrim kapama sonuçlarını göstermek amacıyla deney setinde aynı araca ait görüntüler kullanılmıştır. Bu deneyin ilk iki aşamasında iki farklı araç altı görüntüsü kullanıldıktan sonra üç, dört, beş ve altıncı adımlarda aynı araca ait görüntüler kullanılmıştır. Yedinci adımda ise deney setindeki farklı bir araç altı görüntüsü kullanılmaktadır. Şekil 10 (b)' de elde edilen konfüzyon matrisi, kapanan çevrimlerin sonucunu göstermektedir. Matrisin bir, iki, üç ve yedinci köşegen elemanlarının parlak olarak gösterilmesi bu ayrıık konumlarda elde edilen görüntülerin ilk kez elde edildiğini belirtir. Dört, beş ve altıncı ayrıık konumlarda ise çevrim kapama algılanarak köşegen dışı elemanlar parlak olarak gösterilmektedir. Dördüncü konum üçüncü konum ile, beşinci konum dördüncü konum ile ve altıncı konum beşinci konum ile aynıdır. Dolayısıyla elde edilen sonuç üç, dört, beş ve altıncı görüntülerin aynı araç alt gövdesine ait olduğunu



Şekil 10: Tüm yönlü görüntüler için konfüzyon matrisleri: (a) yedi ayrıık konumun farklı araçlara ait olma durumu, (b) dört, beş ve altıncı konumda kapanan çevrimler

göstermektedir. Bu deney sonucunda araçlar dört grupta sınıflandırılmaktadır.

#### 5.4. Perspektif ve Tüm Yönlü Kamera ile Yapılan Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması

Şekil 8 ve Şekil 9'da sunulan örnek görüntüler araç altı görüntüleme sistemlerinde tüm yönlü kamera kullanımının avantajlı olduğunu göstermektedir. Bir perspektif kamera ile elde edilen görüntüler (Şekil 8) bir araç altının sınırlı kısımlarının görüntülediğini gösterirken, tüm yönlü bir kamera ile aracın bütün alt gövdesi görüntülenebilmektedir (Şekil 9). Aynı zamanda tüm yönlü kamera kullanımı araç alt gövdelerindeki sınırlı çalışma alanı sorununu ortadan kaldırmaktadır. Bununla birlikte, tüm yönlü kamera ile yapılan görüntüleme işlemlerinde şöyle bir dezavantaj oluşmaktadır: uzaktaki cisimler tüm yönlü görüntüleme modeli neticesinde yakındaki cisimlere oranla daha geniş bir açı ile yansıtılır ve daha küçük görüntü oluşturulur (Şekil 1, 2). Bu problemi ortadan kaldırmak için mobil robotun araç altında hareketi sağlanabilir ve özellikle görüntülenmesi istenen noktalara doğru hareket ettirilebilir.

### 6. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu bildiriye, araç alt gövdelerinin görüntülenmesi ve araçların sınıflandırılması için yeni bir çözüm yöntemi sunulmuştur. Bir perspektif kameranın dışbükey bir aynaya doğru yönlendirildiği tüm yönlü kamera sistemi mobil robota monte edilmiş ve araç altlarının görüntülenmesi sağlanmıştır. Gizlenmiş nesnelere SURF özelliklerinin çıkarılması ile tanınmıştır ve araçlar FAB-MAP algoritması kullanılarak sınıflandırılmıştır. Deneysel çalışmalar önerilen çözümün uygulanabilirliğini göstermektedir. Gelecekte, bu bildiriye sunulmuş olan tüm yönlü kamera sistemi mobil robotun görsel tabanlı kontrolü ile birleştirilecektir.

### 7. Kaynakça

- [1] C. Geyer and K. Daniilidis, "Structure and motion from uncalibrated catadioptric views," IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 279-286, 2001.
- [2] T. Svoboda and T. Pajdla, "Epipolar geometry for central catadioptric cameras," Int. Journal of Computer Vision, vol. 49, no. 1, pp. 23-37, 2002.
- [3] B. Micusik, and T. Pajdla, "Autocalibration and 3D reconstruction with noncentral catadioptric cameras," IEEE Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition," vol.1, pp. 58-65, 2004.
- [4] M. Schönbein, B. Kitt, and M. Lauer, "Environmental perception for intelligent vehicles using catadioptric stereo vision systems," Proc. of the European Conference on Mobile Robots (ECMR), Sweden, pp.1-6, 2011.
- [5] W. L. D. Lui and R. Jarvis, "Eye-Full Tower: A GPU based variable multibaseline omnidirectional stereovision with automatic baseline selection for outdoor mobile robot navigation," Robotics and Autonomous Systems, vol. 58, pp. 747-761, 2010.

[6] T. Gandhi and M. Trivedi, "Vehicle surround capture: Survey of techniques and a novel omni-video-based approach for dynamic panoramic surround maps," IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, vol. 7, no. 3, pp. 293-308, September 2006.

[7] M. Schönbein, H. Rapp and M. Lauer, "Panoramic 3D reconstruction with three catadioptric cameras," Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 193, pp.345-353, 2013.

[8] P. Dickson et al., "Mosaic generation for under vehicle inspection," Proc. of Sixth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp. 251-256, 2002.

[9] S. R. Sukumar, D. L. Page, A. V. Gribok, A. F. Koschan and M. A. Abidi, "Robotic three dimensional imaging system for under vehicle inspection," Journal of Electronic Imaging, vol. 15, 2006.

[10] C.N. Anagnostopoulos, I. Giannoukos, T. Alexandropoulos, A. Psyllos, V. Loumos and E. Kayafas, "Integrated vehicle recognition and inspection system to improve security in restricted access areas," IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 1893-1898, 2010.

[11] M. Cummins and P. Newman, "FABMAP: Probabilistic localization and Mapping in the space of appearance," The Int. Journal of Robotics Research, vol. 27, no. 6, pp. 647-665, 2008.

[12] C. Mei, S. Benhimane, E. Malis and P. Rives, "Homography-based tracking for central catadioptric cameras," IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 669-674, 2006.

[13] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale invariant keypoints," IJCV, vol. 60, no.2, pp. 91-110, 2004.

[14] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars and L. Van Gool, "SURF: Speeded up robust features," Computer Vision and Image Understanding, vol.110, no.3, pp. 346-359, 2008.

[15] J. Sivic and A. Zisserman, "Video google: a text retrieval approach to object matching in videos," IEEE Int. Conf. on Computer Vision, vol.2, pp. 1470-1477, 2003.

[16] A. Glover, W. Maddern, M. Warren, S. Reid, M. Milford and G. Wyeth, "OpenFABMAP: an open source toolbox for appearance based loop closure detection," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 4730-4735, 2012.