

Tümyönlü ve PTZ Kameralar ile Taşıt Sınıflandırması

Classification of Vehicles with Omnidirectional and PTZ Cameras

İpek Barış, Yalın Baştanlar
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye
{ipekbaris,yalinbastanlar}@iyte.edu.tr

Özetçe —Çalışmamızda trafik sahneleri üzerindeki araçların tespit edilip sınıflandırması için bir tümyönlü bir de PTZ (pan-tilt-zoom) kamera kullanan bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem, tümyönlü kamerada arkaplan çıkarımı sonrası saptanan nesnenin konumuna göre PTZ kamerayı uygun açıya yönlendirmekte ve PTZ kamerada yapılan ikincil tespit sonrası çıkarılan öznitelikler ile araç sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma başarısı ayrıca sadece tümyönlü kamerada yapılan sınıflandırma ile karşılaştırılmıştır. Üzerine çalışılan nesne tipleri motosiklet, araba, dolmuş ve yayadır.

Anahtar Kelimeler—Tümyönlü kamera, Pan-tilt-zoom kamera, Taşıt tespiti, Taşıt sınıflandırması.

Abstract—We propose a method for vehicle detection and classification in traffic scenes using an omnidirectional and a PTZ (pan-tilt-zoom) camera. The proposed method controls the PTZ camera with respect to the location of the object detected by background subtraction with the omnidirectional camera, and classifies the vehicle using the frames of the PTZ camera. We also compare the classification accuracy when the classification is performed only with the omnidirectional camera. The object types we worked on are motorcycle, car, van and pedestrian.

Keywords—Omnidirectional camera, Pan-tilt-zoom camera, Vehicle detection, Vehicle classification

I. GİRİŞ

Tümyönlü kameralar, yatay ekseninde 360° görüş açılı sabit kameralardır. Tek bir imgede geniş görüş açısı nedeniyle birim alan başına sağladığı çözünürlük düşüktür. PTZ (Pan-Tilt-Zoom) kameralar ise yüksek çözünürlüklü, hareket edebilme kabiliyeti olan ancak dar görüş açılı kameralardır. Her iki kameranın kuvvetli yönleri hibrit bir sistemde bir araya getirilerek geniş görüş açılı ve yüksek çözünürlüklü gözetleme yapılabilir. Buna tipik bir örnek tümyönlü kamera ile hareket tespiti yapıp PTZ kamerayı hareketli nesnenin olduğu doğrultuya yönlendirmektir [1], [2].

PTZ ve standart görüş açılı kameralar ile yapılan sınıflandırmalara örnek olarak [3]'te arkaplan çıkarımı sonrası elde edilen silüet için alan, genişlik, doluluk, uzanım, çevre, dışbükey örtü çevresi, uzunluk, bindirilen elipsin eksenleri ve

momentlerden oluşan bir öznitelik kümesi kullanılmış, boyut indirgemesinin ardından k-en yakın komşu algoritması ile taşıt sınıflandırması yapılmıştır. Nesne tespiti için şekil tabanlı öznitelikler yerine gradyan tabanlı öznitelikler kullanmak da mümkündür. Bunun için en revaçta örneklerden birisi HOG (Histogram of Oriented Gradients - Yönlü Gradyan Histogramu) özniteliklerini kullanmak ve resmi kayan pencereler yaklaşımı ile taramaktır [4]. Bu zaman alan bir yöntem olduğundan video verisi üzerinde kullanılabilmesi için yine arkaplan çıkarımı yapıp HOG öznitelliği çıkarılacak bölgeyi belirlemek gerekir.

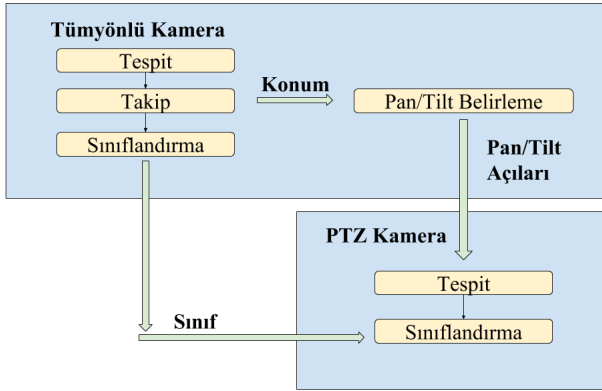
Tümyönlü kameralarda da şekil ve gradyan tabanlı öznitelikler, nesne sınıflandırması için kullanılmıştır. Şekil tabanlı öznitelikler ile tümyönlü kamerada taşıt sınıflandırmasına örnek verecek olursak, [2]'de nesnelerin sadece alan öznitelliği kullanılarak araçlar küçük (motosiklet, araba) ve büyük (kamyon, otobüs v.b.) olarak ayrılmıştır. [5]'te ise, dışbükeylik, uzanım, dikdörtgensellik ve Hu moment öznitelikleri çıkarılarak motosiklet, araba ve dolmuş ayırt edilmiştir. HOG öznitelikleri ile tümyönlü kameralarda nesne bulmaya örnek olarak HOG hesabı tümyönlü kameralara matematiksel olarak uyarlanarak yaya, araba ve dolmuş tespiti yapılmıştır [6], [7]. Video görüntüsünde HOG kullanımına örnek olarak [8] ve [9] verilebilir. [8]'de HOG çıkarılacak bölge elle kesilerek sınıflandırmaya verilmiştir. [9]'da ise arkaplan çıkarımı sonrası elde edilen silüetin etrafında HOG hesaplanarak sınıflandırma yapılmıştır.

Tümyönlü kameradan çıkarılan imgenin düşük çözünürlüklü ve arkaplanının sabit, PTZ kameradan çıkarılan imgenin ise yüksek çözünürlüklü ve arkaplanının hareketli olmasından ötürü hareketli nesnenin tespiti ve sınıflandırılması için çalışmamızda farklı yaklaşımlar kullandık. Şekil 1'de görüldüğü gibi, gerçek zamanlı çalışan, tümyönlü ve PTZ kameralar bulunan sistemimizde, ilk önce tümyönlü kameradan arkaplan çıkarımıyla taşıt tespiti yapıp silüeti çıkarılır ve takip edilir. Örnek silüetler, Şekil 2'de gösterilmiştir. Silüetler takip edildiği sürece, nesnenin tümyönlü kameradaki konumundan pan/tilt değerleri hesaplanır ve PTZ kameraya gönderilir. Ayrıca, tümyönlü kamerada silüetlerin alan, uzanım, genişlik-yükseklik oranı öznitelikleri kullanılarak sınıflandırma yapılır. PTZ kamera üzerinde de aynı taşıt tespiti edilir ve arkaplan çıkarımı sonrası elde edilen bölgede HOG öznitelikleri hesaplanarak sınıflandırma yapılır. Sınıflandırma yapılan taşıt/nesne

Bu bildiriye çalışmaları TÜBİTAK tarafından 113E107 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

tipleri; yaya, motosiklet, araba ve dolmuştur. Özetle, çalışmamızda hem tümyönlü kamera ile sınıflandırma yapılmış, hem de tümyönlü kameranın yönlendirmesi sonrası PTZ kamera ile sınıflandırma yapıлып, bu iki başarı arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Bölüm II’de tümyönlü kameradaki nesne tespiti, takibi ve sınıflandırması, Bölüm III’te tümyönlü kameradan tespit edilen nesne için PTZ kamera doğrultusunun (pan/tilt) bulunması, Bölüm IV’te PTZ kameradaki nesne tespiti ve sınıflandırılması anlatılmıştır. Bölüm V’te, yapılan deneyler ve sonuçları açıklanıp, Bölüm VI’da vargılar verilmiştir.



Şekil 1: Sisteme genel bakış



Şekil 2: Tümyönlü kameradan arkaplan çıkarımı ve morfolojik işlemler sonucunda elde edilen silüet örnekleri. Az yer kaplaması için tümyönlü imgede ilgili yer kesilmiştir. Sol-üst: dolmuş silüeti, sağ-üst: yaya, sol-alt: motosiklet, sağ-alt: araba.

II. TÜMYÖNLÜ KAMERA İLE NESNE TESPİTİ, TAKİBİ VE SINIFLANDIRMASI

Sistemimizde, [10]’da karşılaştırılan arkaplan çıkarımı algoritmalarından hızlı bir tanesi olan Adaptif Arkaplan Çıkarımı kullanılarak hareketli nesnelerin silüetleri tespit edilir. Daha sonra, bu silüetler, üzerinde morfolojik işlemler yapılarak gürültüden arındırılır. Tümyönlü kamera, imge üzerinde aynı anda birden fazla nesne olmasına müsait bir konumdadır. Bu yüzden, Macar Algoritması [11] kullanılarak yeni tespit edilmiş nesnelere yeni bir kimlik verilir ve daha önceki imgelerde tespit edilmiş nesnelerin kimliği ellenmeyerek, Kalman Filtre [12] ile takipleri yapılır. Takip edilen nesnenin konumu, önceden belirlenmiş açı aralığında (Kameranın yola dik baktığı açıyı 0° olarak kabul edip, açı aralığını $[-30^\circ, +30^\circ]$ olarak belirledik.) olduğu sürece sınıflandırma yapılır ve her kare için belirlenen sınıfa oy verilir. Açı aralığını geçer geçmez, en çok oy alan sınıf, nesnenin sınıfı olarak atanır (Şekil 3).

Nesne sınıflandırılması için şekil tabanlı özneliklerden alan, uzanım, dikdörtgensellik, dışbükeylik ve genişlik-yükseklik oranı denendi. Yapılan deneylerde, dikdörtgensellik ve dışbükeylik değerleri tüm sınıflar için birbirine yakın değerler çıkıp, ayırt edici olmadıkları görüldü. Bu yüzden,

öznelik kümemiz alan, uzanım ve genişlik-yükseklik oranına indirgendi. Alan özneliği, silüetin kontur alanıdır, yaya ve motosiklet sınıflarına ait nesnelere küçük iken araba, dolmuş sınıflarına ait nesnelere büyük değerler alır. Uzanım özneliği, motosiklet, yaya sınıfını diğer araçlardan ayırt eder. Denklem (1)’deki, U uzanım, W ve L sırasıyla silüeti çevreleyen en küçük döndürülmüş dikdörtgenin kısa ve uzun kenarlarıdır.

$$U = 1 - W/L \quad (1)$$

Genişlik-yükseklik oranı, silüeti çevreleyen en küçük dikdörtgende yüksekliğin genişliğe bölünmesiyle elde edilir. Yaya sınıfını diğer sınıflardan ayırt etmekte önemlidir.

Sınıflandırma için k-en yakın komşu algoritması kullanıldı. Bu algoritma, yeni örneğin hangi sınıfa ait olduğuna, en yakınındaki k tane sınıflandırılmış örneğe bakarak karar verir.

III. TÜMYÖNLÜ KAMERA İLE TESPİT EDİLEN NESNE İÇİN PTZ KAMERA DOĞRULTUSUNUN BULUNMASI

Tümyönlü kameradaki hareketli nesnenin konumunun, PTZ kamera üzerindeki karşılığını bulmak için, kameralar arasında dışsal kalibrasyon yapmak gerekir. Eğer kameralar üst üste ise o zaman tümyönlü kamerada nesnenin imge merkezinden uzaklığı ile tilt açısı arasında bir bağıntı kurulabilir. Pan açısı için ise yine tümyönlüdeki konumun açısı ve PTZ kameranın pan değeri arasında bir bağıntı kurulabilir [13]. Eğer kameralar birbirine mesafeli ise aradaki öteleme ve dönme açıları hesaplamak gerekir. Bunun için kapsamlı bir dışsal kalibrasyon işlemi yapılır [14]. Alternatif olarak bazı varsayımlar kullanan daha pratik bir yöntem [15]’te verilmiştir.

Kalman filtresi ile tahmin edilen konum değeri PTZ kameranın hızlı araçları yakalamasında yetersiz kalmaktadır. Bu problemi çözmek için, (2)’deki denklemler ile tümyönlü kameradaki konum güncellenir.

$$\hat{X} = X + dX(1 + \alpha), \quad \hat{Y} = Y + dY(1 + \alpha) \quad (2)$$

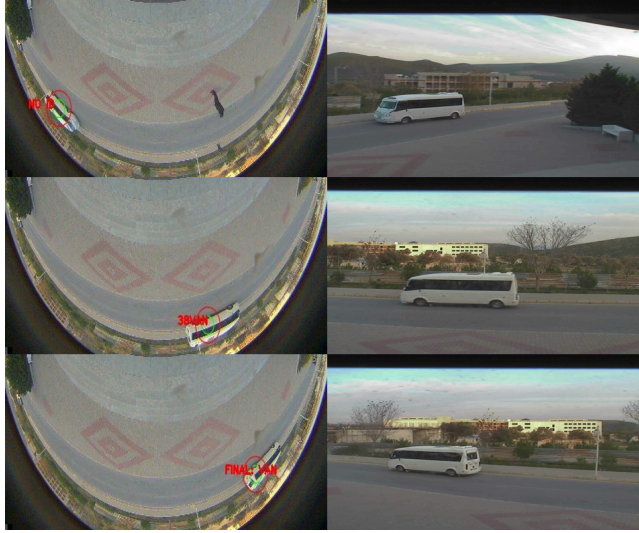
Buradaki denklemlerde; X ve Y Kalman Filtresi’nden çıkan konum değerlerini, dX ve dY anlık hız değerlerini, α değeri ise PTZ kameranın daha ileriye dönmesini sağlamak amacıyla konumu güncellemek için kullandığımız değişkeni gösterir. α , kameranın merkezinde, yani kamera üzerindeki konum değişiminin çok olduğu yerde en yüksek, diğer yerlerde doğrusal şekilde azalarak daha düşük değer alır.

IV. PTZ KAMERA İLE NESNE TESPİTİ VE SINIFLANDIRMASI

Tümyönlü kameradaki konum ile PTZ kamerayı yönetmek ancak hareketli nesneyi görüntü içerisinde tutacak kadar başarılı olabilmektedir. IP kameralarda görüntü gelmesindeki ve kamera döndürülürken yaşanan gecikmeler nedeniyle nesnenin yerini tam olarak kestirmek mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, PTZ kamerada arkaplan çıkarımı ile hareketli araç tekrar tespit edilir. Taşıtların yandan görünüşlerine göre sınıflandırma yaptığımızdan, PTZ kamera istenen doğrultuda (kameranın yola dik baktığı açı) iken nesne tespiti yapılır. Uygun imge çıkarılana kadar kamera sabit durur. Arkaplan çıkarımı algoritması için, tümyönlü kamerada için kullandığımız Adaptif Arkaplan Çıkarımı yerine gürültüye ve gölgelere karşı daha gürbüz olduğundan MOG2 (Improved Adaptive Gaussian Mixture Model, Geliştirilmiş Adaptif Gauss Karışım Modeli) [16] kullanıldı. MOG2 algoritmasında, imge



(a)

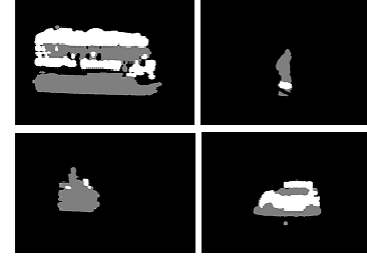


(b)

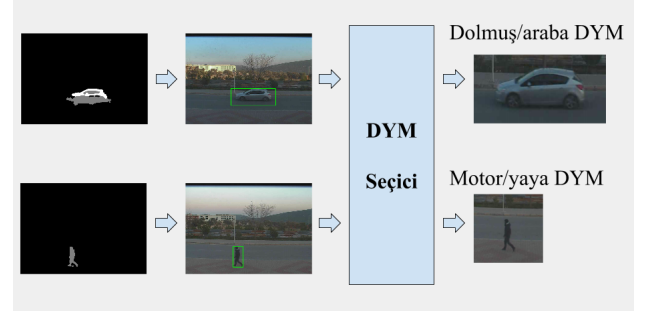
Şekil 3: Tümyönlü kamerada tespit edilen taşıtın sırasıyla, henüz bir sınıflandırma yapılmadan önceki durumu, sınıflandırma için kullanılan karelerden bir tanesi, hangi sınıfa ait olduğu belirlendikten sonraki durumu. Sağ kolonda ise tümyönlü kamera ile eş zamanlı olarak PTZ kameradan alınan kareler. a) Yaya (Pedestrian) tespiti ve sınıflandırılması. b) Dolmuş (Van) tespiti ve sınıflandırılması.

üzerindeki her bir pikselin Gauss karışımı hesaplanıp bir model oluşturulur ve model çevrimiçi güncellenir. Bu modele uyan yeni imge üzerindeki pikseller arkaplan parçası, uymayanlar önplan olarak kabul edilir.

Şekil 4'te arkaplan çıkarımı sonrası elde edilen silüet örnekleri verilmiştir. Silüeti çevreleyen en küçük dikdörtgen hesaplanır. Bu dikdörtgenin yükseklik-genişlik oranı kullanılarak taşıtın hangi DYM (Destek Yöney Makinesi) ile sınıflandırılacağına karar verilir. Sınıflandırma için biri 300x120 piksel (2.5:1 oranı) kullanan dolmuş/araba DYM'si, diğeri 120x120 piksel (1:1 oranı) kullanan motorsiklet/yaya DYM'si eğitilmiştir. Daha sonra imgenin ilgili bölgesi ölçeklendirilip üzerinde HOG öznitelikleri hesaplanır, ardından seçilmiş olan DYM ile taşıt sınıflandırılır. Yapılan işlemler



Şekil 4: PTZ kameradan arkaplan çıkarımı yapıp morfolojik işlemler sonucunda elde edilen silüet örnekleri. Sol-üst: dolmuş silüeti, sağ-üst: yaya, sol-alt: motorsiklet, sağ-alt: araba.



Şekil 5: PTZ kamera ile yapılan işlemler. Silüeti çevreleyen en küçük dikdörtgen bulunur ve hangi DYM'ye gireceği belirlenir, DYM seçimi yapıldıktan sonra dikdörtgen kenarlarından uygun miktarda genişletilir ve 1:1 (motorsiklet/yaya) veya 2.5:1 (dolmuş/araba) oranında pencere çıkarılır. Bu pencerede HOG öznitelikleri hesaplanarak sınıflandırma yapılır.

Şekil 5'te gösterilmiştir.

V. DENEYLER

Tümyönlü kamera olarak balıkgözü mercekli Oncam Grandeye 360°, PTZ kamera olarak Samsung SNP-5300 kullanıldı. Kameralar, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde, trafik akışının nispeten yoğun olduğu yola bakan binaya monte edildi. Tümyönlü kamera ve PTZ kamerada yapılan deneyler, iki ayrı alt başlık altında incelenmiştir.

A. Tümyönlü Kamera ile Sınıflandırma

K-en yakın komşu sınıflandırıcısı için 96 adet motorsiklet, 125 adet araba, 100 adet dolmuş ve 102 adet yaya olmak üzere tek silüetlerden oluşan veri seti toplandı. Bu setin tamamı eğitim için kullanıldı. Test için kullanılan örnek sayısı ve test setindeki sınıflandırma başarısı Tablo I'de verilmiştir. Doğru sınıflandırılan örnek yüzdesi %97.30 olmuştur. Bu test seti, bir sonraki bölümde vereceğimiz PTZ kamera sınıflandırmasındaki test seti ile aynı örnekleri içermektedir.

Tablo I: Test veri seti ile yapılan deneyin hata matrisi ve tümyönlü kameradaki sınıflandırıcının başarı yüzdesi

	Örnek Sayısı	Tespit Edilen Sınıflar				Başarı Yüzdesi
		Dolmuş	Araba	Motorsiklet	Yaya	
Gerçek Sınıflar	Dolmuş	52	49	3	0	%94.2
	Araba	51	0	51	0	%100
	Motorsiklet	38	0	0	38	%100
	Yaya	44	0	0	2	42
Sınıflandırıcı Başarı Yüzdesi						%97.30

B. PTZ Kamera ile Sınıflandırma

PTZ kamerada sınıflandırma Bölüm IV'te açıklandığı gibi HOG öznitelikleri ve DYM ile yapıldı. Eğitim seti için 126 adet araba, 101 adet dolmuş, 104 adet yaya ve 94 adet motosiklet örneği toplanıp elle işaretlendi. Dolmuş/araba DYM'sini eğitmek için, bu sınıflara ait imgeler 300x120 (2.5:1 oranı) boyutuna ölçeklendirildi. Her bir imgeden 4788 elemanlı öznitelik vektörü çıkarıldı. Aynı şekilde, motosiklet/yaya DYM'sini eğitmek için, yaya ve motosiklet örneklerine ait imgeler 120x120 (1:1 oranı) boyutuna ölçeklendirildi ve her bir imgeden 1768 elemanlı öznitelik vektörü çıkarıldı. PTZ kamerada arkaplan çıkarımı ile saptanan pencere, taşıt ile mükemmel bir şekilde örtüşmeyeceğinden, daha gülbüz bir eğitim sağlamak amacıyla, eğitim setindeki pencereler sağa, sola, yukarı, aşağı oynatılarak ve büyütüp küçültülerek örnek sayısı 9 katına çıkarıldı.

Aynı bir test seti hazırlayarak, HOG çıkarılacak alanın otomatik saptandığı ve sonra sınıflandırıldığı bir deney yaptık. Sınıflandırma başarısı Tablo II'de yer almaktadır. Ortalama %86 dolayında bir başarı elde edilmiştir. Yine aynı tabloda görüldüğü üzere yanlış sınıflandırılan örneklerin çoğu, saptanan hareketli nesnenin yanlış DYM'ye gönderilmesi nedeniyle olmuştur. Buradan PTZ kamerada arkaplan çıkarımı sonrası elde edilen silüetin yükseklik-genişlik oranının örnekleri dolmuş/araba ve motosiklet/yaya olarak çok iyi ayıramadığı sonucu çıkmaktadır. Daha iyi bir performans elde etmek amacıyla DYM seçimini tümyönlü kamerada tespit edilen sınıfı kullanarak yaptık. Tümyönlü kamerada tespit edilen sınıf motosiklet veya yaya ise motosiklet/yaya DYM, dolmuş veya araba ise dolmuş/araba DYM seçilir. Sonuçlar Tablo III'te yer almaktadır. Bu şekilde DYM seçimindeki hataların tamamen giderildiği görülmektedir. Tablo II'de ve Tablo III'te görüldüğü gibi, PTZ kamera tek başına iyi sınıflandırma yapamazken, tümyönlü kameralı hibrit bir sistemle PTZ kamera ile sınıflandırmada iyileşme görülmüştür.

Tablo II: PTZ kamerada silüeti çevreleyen dikörtgenin yükseklik-genişlik oranı kullanılarak DYM seçimi ve PTZ sınıflandırma başarısı

Sınıf	Örnek Sayısı	Hatalı DYM Seçen Örnek Sayısı	PTZ Sınıflandırıcı		Başarı Yüzdesi
			Doğru Sınıflandırma	Hatalı Sınıflandırma	
Dolmuş	52	12	37	3	%71.15
Araba	51	1	50	0	%98
Motosiklet	38	9	29	0	%76.32
Yaya	44	0	44	0	%100
Sınıflandırıcı Başarı Yüzdesi					%86.48

Tablo III: Tümyönlü kameradan tespit edilen sınıfla DYM seçimi ve PTZ sınıflandırma başarısı

Sınıf	Örnek Sayısı	Hatalı DYM Seçen Örnek Sayısı	PTZ Sınıflandırıcı		Başarı Yüzdesi
			Doğru Sınıflandırma	Hatalı Sınıflandırma	
Dolmuş	52	0	48	4	%92.30
Araba	51	0	51	0	%100
Motosiklet	38	0	37	1	%97.36
Yaya	44	0	44	0	%100
Sınıflandırıcı Başarı Yüzdesi					%97.30

VI. VARGILAR

Çalışmamızda, hem tümyönlü kamera ile şekil tabanlı sınıflandırma yapılmış, hem de tümyönlü kameranın tespiti sonrası PTZ kamera ile gradyan tabanlı sınıflandırma yapılmıştır. Sonuçlar PTZ kameranın tek başına iyi sınıflandırma yapmazken, tümyönlü kamera ile birlikte sınıflandırmanın daha iyi olduğunu göstermiştir. Tümyönlü kameralı sınıflandırma başarısı ile Tümyönlü+PTZ sistemdeki sınıflandırma başarısı birbirine yakın çıkmıştır. PTZ kamera aynı zamanda yüksek çözünürlüklü görüntü alma işlevi de görmektedir. Ancak sahnede birden fazla araç olduğu durumlarda PTZ kamera tek başına bütün araçlara yetişemeyeceğinden, öncelikli sınıflandırmayı tümyönlü kamera ile yapıp, hedef sınıfa ait olma şansı yüksek araçlar için PTZ kamera devreye sokulup yüksek çözünürlüklü görüntü alınabilir. Bu şekilde, geniş görüş açısı ve yüksek çözünürlük özelliklerini birleştiren hibrit bir kamera sistemi kullanılması anlam kazanır.

KAYNAKÇA

- [1] Y. Yao, B. Abidi, and M. Abidi, "Fusion of omnidirectional and PTZ cameras for accurate cooperative tracking," in *Video and Signal Based Surveillance*, pp. 46–46, IEEE, 2006.
- [2] R. Khoshabeh, T. Gandhi, and M. Trivedi, "Multi-camera based traffic flow characterization & classification," in *Intelligent Transportation Systems Conf.*, pp. 259–264, IEEE, 2007.
- [3] B. Morris and M. Trivedi, "Robust classification and tracking of vehicles in traffic video streams," in *Intelligent Transportation Systems Conf. (ITSC)*, pp. 1078–1083, IEEE, 2006.
- [4] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," in *Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 886–893, IEEE, 2005.
- [5] H. C. Karaimar and Y. Bastanlar, "Detection and classification of vehicles from omnidirectional videos using temporal average of silhouettes," in *Int. Conf. on Computer Vision Theory and Applications*, 2015.
- [6] I. Cinaroglu and Y. Bastanlar, "A direct approach for object detection with catadioptric omnidirectional cameras," *Signal, Image and Video Processing*, vol. 10, pp. 413–420, 2016.
- [7] I. Cinaroglu and Y. Bastanlar, "A direct approach for human detection with catadioptric omnidirectional cameras," in *Signal Processing and Communications Applications Conf. (SIU)*, pp. 2275–2279, IEEE, 2014.
- [8] T. Gandhi and M. Trivedi, "Video based surround vehicle detection, classification and logging from moving platforms: Issues and approaches," in *Intelligent Vehicles Symp.*, pp. 1067–1071, IEEE, 2007.
- [9] H. C. Karaimar, I. Cinaroglu, and Y. Bastanlar, "Combining shape-based and gradient-based classifiers for vehicle classification," in *Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pp. 800–805, IEEE, 2015.
- [10] A. Sobral and A. Vacavant, "A comprehensive review of background subtraction algorithms evaluated with synthetic and real videos," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 122, pp. 4–21, 2014.
- [11] J. Munkres, "Algorithms for the assignment and transportation problems," *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, vol. 5, no. 1, pp. 32–38, 1957.
- [12] G. Welch and G. Bishop, "An introduction to the kalman filter. univ. of north carolina, dept. of computer science," tech. rep., TR 95-041, 1995.
- [13] G. Scotti, L. Marcenaro, C. Coelho, F. Selvaggi, and C. Regazzoni, "Dual camera intelligent sensor for high definition 360 degrees surveillance," *IEEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing*, vol. 152, no. 2, pp. 250–257, 2005.
- [14] B. He, Z. Chen, and Y. Li, "Calibration method for a central catadioptric-perspective camera system," *JOSA A*, vol. 29, no. 11, pp. 2514–2524, 2012.
- [15] Y. Bastanlar, "A simplified two-view geometry based external calibration method for omnidirectional and PTZ camera pairs," *Pattern Recognition Letters*, vol. 71, pp. 1–7, 2016.
- [16] Z. Zivkovic, "Improved adaptive gaussian mixture model for background subtraction," in *Pattern Recognition (ICPR)*, vol. 2, pp. 28–31, IEEE, 2004.