

VIDEO GÖRÜNTÜLERİNİN KAÇIŞ NOKTALARI YARDIMIYLA REKTİFİKASYONU

Mahir Serhan Temiz¹, Sıtkı Külür²

¹OMÜ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Harita Müh.Bölümü, Atakum, Samsun, mstemiz@omu.edu.tr

²İTÜ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Müh.Bölümü, Maslak, İstanbul, kulur@itu.edu.tr

ÖZET

Video görüntülerinin kullanımı otomasyonu sağlamak için her geçen gün artmaktadır, örneğin hareketli nesnelerin izlenmesi, hareket yörüngelerinin çıkarılması, trafik yoğunluğunun bulunması ve araç hızlarının tespit edilmesi gibi. Görüntüler yardımıyla hesaplamaların yapılabilmesi için öncelikle görüntülerin düzeltilmesi (rektife edilmesi) gerekmektedir. Bu çalışmada da video kameralar yardımıyla trafik akışının izlenmesi, araç hızlarının gerçek zamanlı belirlenmesi ve olası kaza durumlarında kaza anının üç boyutlu modelinin oluşturulması için kurulacak bir sistemde kullanılacak video görüntülerinin rektifikasyonu araştırılmıştır. Bu konuda literatürde daha önceden yapılan araştırmalarında bir özeti verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Video Görüntüleri, Görüntü İşleme, Dijital Fotogrametri, Rektifikasyon, Hough Dönüşümü

ABSTRACT

RECTIFICATION OF MONOCULAR VIDEO IMAGES VIA VANISHING POINTS

Using of video sequences are increasing in several applications for automation, for instance tracking moving objects, extracting trajectories, finding traffic intensity or estimating vehicle velocity etc. Because of the perspective effect, first the video sequences must be rectified before using them for photogrammetric applications. In this study, the rectification of video images to be used in a system for monitoring the traffic flow, real time speed estimation of vehicles and the 3D reconstruction of the accident scenes, is explained. A brief literature reviews is given already done in this field before.

Keywords: Video Images, Image Processing, Vanishing Points, Rectification, Hough Transformation

1. GİRİŞ

Metrik olmayan amatör kameralar kullanıldığında, iç yöneltme elemanları olarak adlandırılan, kameranın odak uzaklığı, asal noktanın koordinatları ve mercek distorsiyonları bilinmemektedir. Görüntüler yardımıyla 3 boyutlu model oluşturabilmek için kameranın dış yöneltme elemanları olarak bilinen kameranın konumunun da belirlenmesi gerekmektedir. İç ve dış yöneltme elemanları ayrı ayrı belirlenebileceği gibi, aynı zamanda da (örneğin demet dengelemesi) belirlendiği çok sayıda teknik vardır (Khalil, 2002). En etkin yöntemlerden biri olan demet dengelemesi 1950 li yıllarda geliştirilmiş ve 1970 li yıllarda self-kalibrasyon olarak genişletilmiştir (Beyer, 1991). Geometrik kamera kalibrasyonun amacı, kameranın iç yöneltme elemanlarını belirlemek ve perspektif geometriden, sistematik sapmaları modellemektir (Dörsel ve diğ. 2003).

Khalil (2002) çalışmasında yöneltme elemanlarının belirlenmesi için mevcut yöntemleri araştırmış ve üç grup altında toplamıştır. Birinci grup yöntemler özellikle fazla hassasiyetin beklenmediği, direkt lineer dönüşüm gibi yaklaşık tekniklerdir. İkinci grupta ise kontrol noktalarının kullanıldığı, aynı doğru üzerinde bulunma (collinearity), aynı düzlem üzerinde bulunma (coplanarity) kısıtlamalarını kullanan yöntemler ve üçüncü grup olarak da görüntüdeki geometrik kısıtlamalardan yararlanılan yöntemler olarak sıralanmıştır.

İç yöneltme elemanları görüntü çiftlerinden belirlenebileceği gibi, tek bir görüntüden de belirlenebilir. Heuvel (1999) çalışmasında tek bir görüntüden iç yöneltme elemanlarının belirlenmesi konusunda araştırma yapmıştır. Bunun için görüntüdeki doğruların paralellik ve diklik şartlarından yararlanmıştır. Heuvel (2003) bir diğer çalışmasında, tek görüntü yerine farklı açılardan çekilmiş beş adet görüntü kullanmıştır. Burada kalibrasyon parametrelerini hesaplamak için görüntülerde çıkarılan doğrulardan yararlanmıştır. Bu çalışmasında gerekli olan, doğruların paralellik ve diklik bilgilerini, kaçış noktası belirleyerek otomatik olarak elde etmiştir. Heuvel çalışmalarında elde ettiği sonuçlarda, çizgisel fotogrametri olarak da bilinen bu yöntemin mimari alanda başarıyla kullanılabileceğini belirtmiştir. Heuvel (1998) önceki çalışmalarında mimari fotogrametrisinde kaçış noktası belirleme yöntemlerine değinmiş ve birbirine dik üç eksenindeki doğruları manuel olarak seçerek kaçış noktalarını dengelemeli olarak bulmuştur. Benzer bir çalışma Rother (2000) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada da mimaride, binaların modellerinin oluşturulmasında, görüntüde bulunacak üç farklı yöndeki doğrularla kaçış noktalarının belirlenmesi konusu araştırılmıştır.

Kaçış noktası geometrisi ve kaçış doğruları, kalibrasyon parametrelerinin hesaplanmasında sık olarak kullanılmaktadır. Beardsley ve Murray (1992) çalışmalarında projektif bir düzlemdeki paralel doğrulardan yararlanarak iç yöneltme

elemanlarını belirlemişlerdir. Ancak gözlemlenen düzlem üzerinde işaretlenmiş bilinen dört nokta kullanılmıştır. Wang ve Tsai (1991) kaçış doğruları yardımıyla kamera kalibrasyonunu araştırmışlardır. Düzlemdeki kaçış doğrularını bulabilmek için altıgen bir kalibrasyon hedefi kullanmışlardır. Kaçış doğrularının geometrik projektif ilişkilerinden yararlanarak iç ve dış yöneltmeleri tek görüntüden belirlemişlerdir.

Guillou ve diğ. (2000) tek görüntüden 3 boyutlu model elde edebilmek için yaptıkları çalışmada, kalibrasyon adımı için kalibrasyon hedefi ya da noktalar kullanmamışlardır. Ancak onlarda dört varsayımda bulunmuşlardır: Kullanılacak tek görüntü en az iki kaçış noktası içermeli, kullanılacak doğrunun gerçek uzunluğu bilinmelidir. Asal nokta görüntünün merkezinde olduğu ve piksel boyutunun kullanıcı tarafından sabit olarak kabul edildiği varsayımları yapılmıştır. Kullandıkları yöntemde öncelikle odak uzaklığı belirlenmekte, sonra dönüklük matrisi ve ötelemeler hesaplanmaktadır. Masoud ve Papanikolopoulos (2004) benzer yöntemi trafik görüntülerinde kullanmışlardır. Onlarda trafik sahnesinde doğal olarak bulunan paralel çizgileri, yol genişliklerini ve çizgi uzunluklarını öncül bilgi olarak kullanmışlar ve yöneltme elemanlarını bir kaçış noktaları yardımıyla hesaplamışlardır. Benzer bir çalışma Grammatikopoulos ve diğ. (2005) tarafından yapılmıştır. Trafik sahnesinin kullanıldığı çalışmada, kameranın sadece yol ekseninde dönüklüğünün olduğu, yol düzleminin tam düz olduğu varsayılmıştır. Ölçek sorunun giderilebilmesi için yol üzerinde bilinen bir doğrunun ölçüldüğü varsayımları yapılmıştır.

Kaçış noktası geometrisi, görüntü rektifikasyonu ve görüntüdeki perspektif etkinin giderilmesi içinde sık olarak kullanılmaktadır. Özellikle yol, bina gibi insan yapımı düzlemsel nesnelerin görüntülerinin rektifikasyonunda kaçış noktaları otomatik olarak belirlenebilir ve metrik rektifikasyonu yapılır (Liebowitz ve Zisserman, 1998).

Maduro ve diğ. (2008), araç hızlarının bulunması için yaptıkları çalışmada, görüntülerin rektifikasyonunu, yol düzlemindeki paralel doğrular yardımıyla elde ettikleri kaçış noktasından yararlanarak, projektif dönüşümle yapmışlardır.

Görüntülerin rektifikasyonu ve görüntü çiftlerinin normal konuma getirilmesi için kullanılan bir diğer yöntemde epipolar geometridir. Epipolar geometri, her bir resmin nesne uzayı ile ilişkisini ifade ettiği gibi, resimlerin birbiriyle bağlı ilişkilerini de aynı anda ifade eder. Epipolar geometri ile ilgili kapsamlı bir çalışma Zhang (1998) tarafından yapılmıştır. Pollefeys ve diğ. (1999a) görüntünün rektifikasyonu için yaptıkları çalışmada, epipolar geometriden yararlanmışlardır. Kullandıkları algoritma olası her türlü kamera geometrisinde çalışabilmektedir. Görüntünün rektifikasyonu için tek ihtiyaç temel matrisin bulunmasıdır. Temel matris bir görüntüdeki nokta ve epipolar doğru ile diğer görüntüdeki karşılıkları arasındaki dönüşümü tanımlar.

Papadimitriou ve Dennis (1996), yapay ve gerçek görüntüler üzerinde epipolar geometri kullanarak yaptıkları rektifikasyonda başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Morgan ve diğ. (2004) epipolar geometrinin temel amacının normalize edilmiş görüntüler elde etmek olduğunu ve düzeltilmiş görüntüde y paralaksı bulunmadığını belirtmişlerdir. Epipolar geometriyi uydu görüntülerinin rektifikasyonunda kullanmışlardır. Chen ve diğ. (2001) benzer bir çalışmada, görüntüler üzerinde epipolar kısıtlamalar yardımıyla temel matrisi bulup, görüntülerin rektifikasyonunu yapmışlardır. Kaçış noktalarının resim düzlemindeki konumlarının belirlenmesi için öncelikle doğruların otomatik olarak çıkarılması gerekir. Bunun için Hough dönüşümü kullanılacaktır. Hough dönüşümü, sayısal görüntülerdeki doğruların ve diğer şekillerin tespiti işlemi için sıkça kullanılan bir görüntü analiz algoritmasıdır (Safran ve Öktem, 2007).

Grammatikopoulos ve diğ. (2005), yaptıkları çalışmada doğruları belirlemek için Canny algoritmasını kullanmakla yetinmişlerdir. Onoguchi (2009) trafikte araçların belirlenmesi için yaptıkları çalışmada yatay ve dikey doğruları bulmak için bir diğer kenar bulma operatörü olan Sobel operatörünü kullanmıştır. Cathey ve Dailey (2005) ise görüntüye öncelikle Sobel operatörü uygulayarak kenarları belirlemiş ve daha sonra bu görüntü üzerinde Hough dönüşümü uygulayarak doğruları bulma yoluna gitmişlerdir. Shin ve diğ. (2006) çalışmalarında benzer şekilde görüntüye önce sobel operatörü uygulamışlar daha sonra ikili (binarize) görüntü üzerinde Hough dönüşümü uygulayarak görüntüdeki doğruları belirlemişlerdir. Uygulamalarında gereğinden fazla sayıda doğru buldukları için bu doğruları azaltmak amacıyla bir metot uygulamışlardır.

Günümüzde test ağılarıyla kalibrasyon, self-kalibrasyon gibi birçok kalibrasyon yöntemi araştırılmış ve uygulamalarda başarıyla kullanılmaktadır. Ancak söz konusu video görüntüleri olunca, işlemlerin gerçek zamanlı yapılabilmesi için kullanılacak algoritmalarında işlem yükü en az olanlarının tercih edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada da Ondokuz Mayıs Üniversitesi kavağının da bulunduğu Samsun - Bafla devlet karayolunun görüntüsü video kamerayla izlenilmiştir. Uygulamada metrik olmayan amatör dijital video kamera kullanılmıştır. Kurulan sistemde, bu kameralar yardımıyla elde edilecek video görüntülerindeki hareketli nesneler tespit edilmiş, hareket yörüngeleri ve hızları belirlenmiştir. Bunun için ya kullanılan kameranın parametreleri bilinmeli ya da kalibrasyon yöntemleri yardımıyla bu parametreler hesaplanmalıdır. Ancak yukarıda da değinildiği gibi hesaplamalar eş zamanlı yapılacağından görüntülerin rektifikasyonu için hızlı bir algoritma kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla görüntülerdeki doğrulardan yararlanılması düşünülmüştür. Uygulamada yolun düz olduğu varsayılmıştır. Ayrıca kameranın sadece yol düzlemi ile α açısı yaptığı ve diğer eksenlerde dönüklük olmadığı kısıtlamaları getirilmiştir. Bu nedenle sadece yol eksenindeki kaçış noktası bulunmuş, diğer yönlerdeki kaçış noktalarının sonsuzda olduğu varsayılmıştır. Kaçış noktalarının belirlenebilmesi için

birbirine paralel olan yol çizgilerinden yararlanılmıştır. Diğer taraftan metrik ölçü elde edebilmek için yol çizgilerinin uzunlukları ve şerit genişlikleri jeodezik yöntemlerle ölçülmüştür. Video görüntülerinden, öncelikle doğrular Hough dönüşümü yardımıyla belirlenmiştir. Hough dönüşümü sonucunda yüzlerce olası doğru belirlenmiştir. Belirlenen bu doğruların birçoğu gereksizdir. Bu gereksiz doğrulardan kurtulmak için algoritmaya aç ve uzunluk şartı eklenmiştir. Bu işlem sonrası kalan doğrulardan nesne uzayında paralel olan doğrular bulunmuştur. Bu doğrular yardımıyla görüntülerdeki kaçış noktaları belirlenmiş ve görüntü düzeltilmiştir. Bu işlemlerin tamamı makale yazarları tarafından C++ programlama dili ile geliştirilen yazılım tarafından gerçekleştirilmiştir.

2. KAÇIŞ NOKTASI

Bilindiği gibi uzaydaki bir d doğrusuna karşılık resim düzleminde d' doğrusu karşılık gelir. İki doğrunun kesim noktaları uzayda ve izdüşümünde birbirine karşılıktır. Ancak uzaydaki paralel doğrular, eğer projeksiyon düzlemine paralel değılseler, bu paralel doğruların izdüşümleri V gibi bir noktada kesişirler. Bu noktaya kaçış noktası (Vanishing Points) adı verilir. Kaçış noktası izdüşüm merkezinden nesne uzayındaki söz konusu paralel doğrulara çizilen paralelin projeksiyon düzlemini deldiği noktadır. Birbirine paralel bütün doğruların kaçış noktası aynı noktadır. Bir izdüşümde birden fazla kaçış noktası olabilir. Bir düzlem içinde bulunan tüm kaçış noktalarının geometrik yerine kaçış doğrusu denir.

2.1. Kaçış Noktalarının Belirlenmesi

Kaçış noktalarının resim düzlemindeki konumlarının belirlenmesi için öncelikle doğruların otomatik olarak çıkarılması gerekir. Bir sonraki bölümde bu konuya yer verilecektir. Doğrular belirlendikten sonra paralel doğruların denklemleri en küçük kareler yöntemiyle çözümlenerek kaçış noktaları belirlenir.

3. GÖRÜNTÜDEKİ DOĞRULARIN BELİRLENMESİ

Kaçış noktalarının belirlenmesi için yukarıda da değinildiği gibi resimdeki doğruların otomatik olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için çeşitli teknikler bulunmaktadır. Radon dönüşümü, Hough dönüşümü gibi resimdeki doğruların bulunmasında kullanılır. Radon dönüşümü iki boyutlu uzayda düz çizgilere uygulanan integral dönüşümüdür. Ters radon dönüşümü ile görüntülerin tekrar oluşturulması sağlanabilir (Ar, 2009). Radon dönüşümünün geliştirilmiş hali Trace dönüşümüdür. Genellikle, yüz tanıma, plaka tanıma vb. amaçlarla kullanılır. Bu çalışmada Hough dönüşümünden yararlanılmıştır.

3.1. Hough Dönüşümü

Hough dönüşümü, sayısal görüntülerdeki doğruların ve diğer şekillerin (genellikle dairesel) tespiti işlemi için sıkça kullanılan bir görüntü analiz algoritmasıdır. Temel olarak siyah-beyaz görüntülerdeki düzgün doğruları tespit etmek için geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra, doğrusal olmayan düzensiz eğrilerin tespitinde de kullanılmaktadır.

Görüntüden yakalanabilecek olan şekiller arasında, düzgün doğrular, eğriler, çemberler ve elipslere ek olarak doğrusal olmayan keyfi dağılımlı düzensiz şekiller de yer almaktadır. Elbette bunların hepsi için ayrı parametreler ve denklemler geliştirilmiştir. Hough dönüşümü yöntemiyle bir sayısal görüntüden doğruları yakalamak istediğinizde, görüntünün içindeki doğrusal olmayan daire ve eğri gibi şekiller, dönüşüm sonucu oluşacak olan yeni görüntüde yer almayacaklardır. Çıktı görüntüsünde sadece düzgün doğrulara yer verilecektir.

Hough dönüşümü resim üzerinde sıfırdan farklı değerler alan her bir (x,y) koordinat çifti için;

$$y_i = a.x_i + b \quad (1)$$

doğru denklemi ile ifade edilen eğim (a) ve doğrunun y eksenini kestiği noktanın (b), hesaplanmasını sağlar. Hough dönüşümü ile önerilen bu yöntemde bu işlem, (1) denkleminin;

$$b = - a.x_i + y_i \quad (2)$$

şeklinde yeniden yapılandırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Öncelikle (a,b) katsayılarının en küçük ve en büyük değerleri belirlenir, belirlenen aralıktaki her bir olası (a,b) noktası için bir toplama kümesi oluşturulur. bmin'den bmax'a kadar her olası b değerine karşılık gelen a değerleri (2) denklemi kullanılarak hesaplanır, her bir hesap için ilgili toplama hücresinin değeri bir artırılır. Bu işlem bittiğinde toplama hücrelerinden yüksek değerli olanlar incelenir, bunlardan aralarındaki boşlukların yüksek olduğu (a,b) noktaları atıldıktan sonra geriye kalanlar resimde yer alan doğruların ifadesi olarak seçilir (Safran ve Öktem, 2007).

Dik doğrularda a ve b 'nin sonsuza gidebileceği göz önüne alınarak kartezyen koordinatlar yerine kutupsal koordinatlar (ρ, θ) kullanılır. Bu haliyle doğru denklemi;

$$\rho = x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta) \quad (3)$$

şeklini alır. Burada θ orijinden geçen doğrunun x düzlemiyle yaptığı açı, ρ ise doğrunun orijinden olan uzaklığıdır. İki sistem arasında dönüşüm kolaylıkla yapılabilir.

Dairesel çizgiler için Hough dönüşümü biraz daha karmaşıktır; resim üzerindeki (x,y) düzleminden farklı r değerleri için (x_0, y_0, r) uzayına dönüşüm yapılarak daireSEL nesnelerin bulunması yoluna gidilir. Konumuz dışında kaldığı için detaya girilmeyecektir.

4. UYGULAMA

Buraya kadar kaçış noktası, yerinin bulunması ve Hough dönüşümünden bahsedilmiştir. Bu bölümde ise kaçış noktaları yardımıyla görüntülerin düzeltilmesi konusu ele alınacaktır.

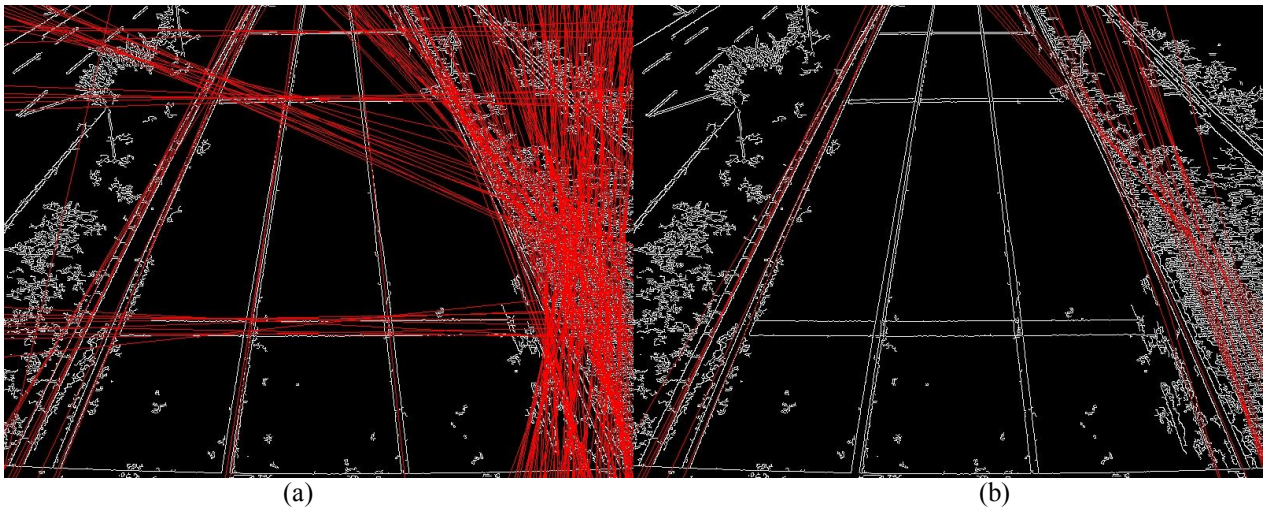
Uygulama için Samsun - Bafra devlet karayolunun görüntüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi kavşağındaki üst geçitten video kamera ile kaydedilmiştir. Kaçış noktasının bulunabilmesi için öncelikle resim düzlemindeki paralel doğruların Hough dönüşümü ile tespit edilmesi gerekmektedir. Daha önce değinildiği gibi Hough dönüşümü siyah-beyaz görüntüler üzerinde çalıştığından ve temel olarak amacımız doğruları bulmak olduğundan, giriş görüntüsü üzerinde öncelikle Canny kenar arama operatörü uygulanarak olası kenarlar yaklaşık olarak bulunur. Şekil 1 de orijinal görüntü Canny kenar arama operatörü yardımıyla bulunan olası kenarlar gösterilmiştir.



Şekil 1: (a) Orijinal görüntü, (b) bulunan olası kenarlar.

Yaklaşık olarak kenarlar bulunduktan sonra Hough dönüşümüyle görüntü üzerindeki doğrular bulunur. Ancak Hough dönüşümü görüntü üzerindeki her yöndeki ve çeşitli uzunluktaki bütün doğruları bulacaktır. Şekilden 2 (a) dan görüldüğü gibi işlem sonucunda 200 ün üzerinde doğru bulunmuştur. Bunların birçoğu, özellikle yan taraflardaki kaldırımın dokusu ve otlar nedeniyle bulunan doğrular hatalı ve gereksizdir. Bu gereksiz doğrulardan kurtulmak için algoritmaya açı ve uzunluk şartı getirilerek mevcut doğru sayısı azaltılmıştır. Şekil 2 (b) de kalan doğrular gösterilmiştir. Bu yeni görüntüden kullanılacak doğruların seçilmesi olanaklı hale gelmiştir.

Doğruların kesim noktaları tek bir nokta olması gerekirken birden, farklı noktadalarda kesişebilmektedirler. Bunun nedeni ise bulunan doğruların gerçekte tamamen paralel olmayabilecekleri gibi, Hough dönüşümü ile doğruların bulunması için gerekli hesaplamalarda oluşan hatalardır. Bu nedenle kaçış noktasının yeri seçilen doğrular kullanılarak verilen en küçük kareler yöntemiyle dengelemeli olarak bulunur.



Şekil 2: (a) Bulunan doğrular, (b) azaltılmış doğrular.

Kaçış noktasının yeri dönüşüm öncesinde resim üzerindeki ilgi alanının (ROI) belirlenmesinde kullanılacaktır. Şekil 3 (a) dan görüldüğü gibi kaçış noktasının yukarısındaki bölge uygulama açısından anlamsızdır. Görüntünün  st kısmında taşıtları dahi görebilmek mümkün değilken hızlarının bulunması imkansızdır. Bu yüzden kaçış noktası yardımıyla görüntü kesilerek sadece anlamlı kısmın kalması sağlanır. Program yardımıyla kaçış noktasının üstü otomatik olarak kesilmiştir. Şekil 3 (b) de kesilmiş görüntü verilmiştir.



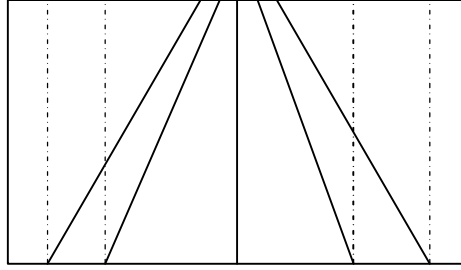
Şekil 3: (a) Orijinal görüntü, (b) kesilmiş görüntü.

Kaçış noktasının yeri belirlenip, gerekmesi halinde, görüntü kesildikten sonra rektifikasyon işlemine ge ilebilir. Rektifikasyon işlemi i in projektif d n ş m bağıntılarında yararlanılmıştır. Projektif d n ş m (4) denklemlerinde verilmiştir.

$$x = \frac{a_1 x' + a_2 y' + a_3}{c_1 x' + c_2 y' + 1} = f_x(x', y') \quad (4)$$

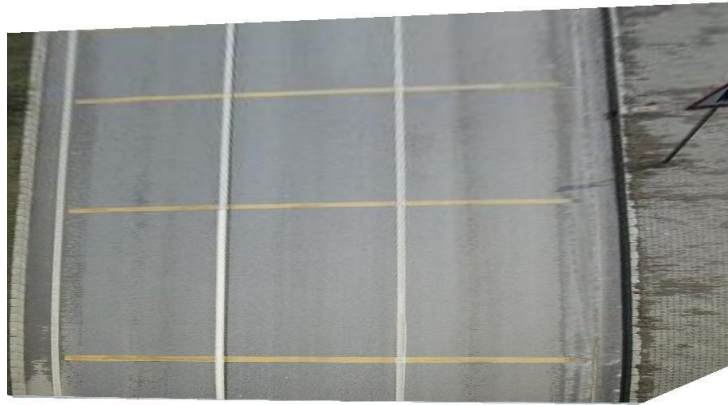
$$y = \frac{b_1 x' + b_2 y' + b_3}{c_1 x' + c_2 y' + 1} = f_y(x', y')$$

Dönüşümün yapılabilmesi için (4) denklemlerindeki a, b ve c katsayılarının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için paralel doğrular üzerinde noktalar seçilir, ikinci sistemdeki (düzeltilmiş görüntüdeki) karşılıkları olarak da  ekil (4) de kesik çizgilerle gösterilen doğrular üzerinde karşılık gelen noktalarının x koordinatları alınır.



Şekil 4: Orijinal ve düzeltilmiş doğrular

Projektif dönüşüm bağıntılarındaki bilinmeyen 7 elemanın bulunması için en az 4 ortak noktanın bulunması gerekmektedir. Uygulamada 8 ortak nokta seçilerek a,b ve c katsayıları en küçük kareler yöntemiyle dengelemeli olarak bulunmuştur. Katsayılar hesaplandıktan sonra projektif dönüşüm yardımıyla görüntü rektife edilerek şekil 5 deki görüntü elde edilmiştir.



Şekil 5: Düzeltilmiş görüntü.

Burada sadece göstermek amacıyla görüntü üzerinde dönüşüm uygulanarak düzeltilmiş görüntü elde edilmiştir. Aslında hazırlanan sistemde düzeltilmiş görüntüyü yeniden oluşturmaya gerek yoktur. Zaten bu hem işlem yükünü hem de işlem zamanını büyük oranda artırır. Bunun yerine projektif dönüşüm sadece görüntü üzerinde gerekli diğer hesaplamaların yapılacağı (hız, yörünge vb.) ilgili noktalar üzerinde uygulanır. Böylelikle algoritmanın büyük oranda hızlanması sağlanmış olmaktadır.

5. SONUÇLAR

Literatürdeki çalışmaların hemen hemen tamamında yolun (ya da ilgili yüzeyin) düz olduğu varsayılmıştır. Bu uygulamada da yolun düz olduğu varsayılmıştır. Ayrıca kameranın sadece yolun x eksenine ile α açısı yaptığı ve görüntünün y eksenine paralel çekildiği kısıtlamaları getirilmiştir. Bu nedenle sadece x eksenine yönündeki kaçış noktası bulunmuş, y yönündeki kaçış noktasının sonsuzda olduğu varsayılmıştır. Zaten şekil 1 (a) daki orijinal görüntüden de görülebileceği gibi y eksenine yönünde bulunabilecek doğrular görüntü düzleminde de paraleldir. Eğer y yönünde de bir dönüklük olsaydı benzer şekilde bu yönde de belirlenecek olası paralel doğrular üzerinden seçilecek noktalarda projektif dönüşüme katılacaktı.

Sonuç görüntülerden de görüleceği gibi orijinal görüntüler, perspektif etkiler giderilerek büyük oranda düzeltilmiştir. Uygulama sonucunda bulunan hızların doğruluğu ± 1.12 km/h olarak elde edilmiştir (Doğan ve diğ. 2010).

KAYNAKLAR

- Ar, İ., 2009. *Videolarda İnsan Eylemlerinin Tanınması*, Seminer raporu, Gebze Y.T.E., İzmit.
- Beardsley, P. and Murray, D., 1992. *Camera calibration using vanishing points*, in Proceedings of the British Machine Vision Conference.
- Beyer, H., 1991. *An Introduction to Photogrammetric Camera Calibration*, Seminaire Orasis, St. Malo, pp. 37-42.
- Cathey F.W. and Dailey D.J., 2005. *A Novel Technique to Dynamically Measure Vehicle Speed using Uncalibrated Roadway Cameras*, IEEE Proceedings of Intelligent Vehicles Symposium, 6-8 June, pp.777-782.

- Chen, Z., Wu, C. and Tang, L., 2001. *Image Rectification Based on Minimal Epipolar Distortion*, in Proceedings of SPIE, Vision Geometry X, Vol. 4476, pp. 186-193.
- Doĝan, S., Temiz, M.S. and K lt r, S., 2010. *Real Time Speed Estimation Of Moving Vehicles From Side View Images From An Uncalibrated Video Camera*, Sensors, 10(5), pp. 4805-4824.
- D rtzel, C., Jacobsen, K. and Stallmann, D., 2003. *DMC -Photogrammetric Accuracy- Calibration Aspects and Generation Of Synthetic DMC Images*, Optical 3D Measurement Techniques VI, Vol. 1, pp 74-82, Zurich, Switzerland
- Grammatikopoulos L., Karras G., and Petsa E., 2005. *Automatic Estimation of Vehicle Speed From Uncalibrated Video Sequences*, Int. Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice In Geodesy and Related Fields, 03-04 November, pp.332-338, Sofia, Bulgaria.
- Guillou, E., Meneveaux, D., Maisel, E., and Bouatouch, K., 2000. *Using Vanishing Points for Camera Calibration and Coarse 3D Reconstruction From a Single Image*, The Visual Computer, Vol. 16, pp. 396-410.
- Heuvel, F.A. van den, 1998. *Vanishing point detection for architectural photogrammetry*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32 part 5, pp. 652-659.
- Heuvel, F.A. van den, 1999. *Estimation of Interior Orientation Parameters From Constraints on Line Measurement in a Single Image*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.32, Part 5W11, pp. 81-88.
- Heuvel, F.A. van den, 2003. *Semi-Automatic Camera Calibration and Image Orientation Using the CIPA Reference Data Set*, in Proceedings, XIX CIPA Symposium, Antalya, Turkey.
- Khalil, O.A., 2002. *Solutions for Exterior Orientation in Photogrammetry: A Review*, Photogrametric Record, 17(100), pp. 615-634.
- Liebowitz, D. and Zisserman, A., 1998. *Metric Rectification for Perspective Images of Planes*, Proceedings of the IEEE Conference Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 482-488.
- Maduro, C, Batista, K, Peixoto, P. and Batista, J, 2008. *Estimation Of Vehicle Velocity And Traffic Intensity Using Rectified Images*, 15th IEEE International Conference on , Image Processing, 2008, pp. 777 – 780.
- Masoud, O. and Papanikolopoulos, N.P., 2004. *Using Geometric Primitives to Calibrate Traffic Scenes*, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Japan.
- Morgan, M., Kim, K., Jeong, S. and Habib, A., 2004. *Indirect Epipolar Resampling of Scenes Using Parallel Projection Modeling of Linear Array Scanners*, XXth Congress of ISPRS.
- Onoguchi, K., 2009. *Overlap Vehicle Detection by Tracking Horizontal Lines*, MVA2009 IAPR, Conference on Machine Vision Applications, Yokohama, JAPAN.
- Papadimitriou, D.V. and Dennis, T.J., 1996. *Epipolar Line Estimation and Rectification for Stereo Image Pairs*, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 5, No. 4, pp. 672-676.
- Pollefeys, M., Koch, R. and Van Gool, L., 1999. *A simple and efficient rectification method for general motion*, Proceedings of International Conference on Computer Vision, pp.496-501, Corfu (Greece).
- Rother, C., 2000. *A New Approach for Vanishing Point Detection in Architectural Environments*, Journal Image and Vision Computing (IVC; Special Issue on BMVC 2000), Vol. 20, pp. 647-656.
- Safran, M.İ. ve  ktem, R., 2007. *Hızlı Hough D n    m  Yakla ıklığı ve  ubuk Kod Tespitine Uygulanması*, SIU 2007, Eski ehir.
- Shin, W.S., Song, D.H. and Lee, C.H., 2006. *Vehicle Classification by Road Lane detection and Model Fitting Using a Surveillance Camera*, International Journal of Information Processing Systems, Vol.2, No.1,pp. 52-57.
- Wang, L.L. and Tsai, W.H., 1991. *Camera Calibration by Vanishing Lines for 3-D Computer Vision*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 13, No. 4, pp. 370-376.
- Zhang, Z., 1998. *Determining the Epipolar Geometry and its Uncertainty: A Review*, International Journal of Computer Vision, 27(2), pp. 161-195.