



Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
PK.141 41400 Gebze/Kocaeli

Teknik Rapor

Seminer Raporu

TM #:	
Başlık:	Demiryollarında hareket halinde olan objelerin bulunması için bir bilgisayarla görme algoritmasının uygulanması
Anahtar Kelimeler:	Bilgisayarla Görme, Stereo, V-disparity, Engel Bulma
Yazarlar:	Fatih Kaleli
Tarih:	16.01.2009
Yayın Dili:	Türkçe

Özet:

Demiryollarında tren hareketinin haricinde hareket halinde olan objeler, özellikle geçitlerde (hemzemin geçit vs gibi) meydana gelen kazalarda etken olarak ön plana çıkmaktadır. Örneğin geçitlere yaklaşmakta olan bir trenin önündeki demiryolları üzerinden geçmekte olan araç veya insan benzeri objelerin tespiti, bu kazaların önlenmesinde önemli bir çözüm olacaktır. Bu seminer çalışmasında, ileri doğru bakacak şekilde lokomotifin monte edilmiş iki kameralı bir vision sisteminden elde edilen görüntülerde, tren hareketinin haricinde, demiryollarında hareket halinde olan objelerin bulunması için “U-V-disparity” görüntüleri yardımıyla bir bilgisayarla görme algoritmasının uygulanması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayarla Görme, Stereo, V-disparity, Engel Bulma

Abstract:

Moving objects crossing in front of the train may cause grade-crossing crashes. For instance, detection of obstacles (people, vehicles) crossing in front of the train will be an important potential solution. In this seminar study, we concentrate on detecting of obstacles from train video sequences which is taken off cameras installed in front of a locomotive and the implementation of a computer vision algorithm by using U-V-disparity images.

Keywords: Computer Vision, Stereo, V-disparity, Obstacle Detection

Demiryollarında hareket halinde olan objelerin bulunması için bir bilgisayarla görme algoritmasının uygulanması

Fatih Kaleli
GYTE Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
fkaleli@bahcesehir.edu.tr

1. Sunuş

TCDD istatistiklerine göre 2003-2007 yılları arasında demiryollarında meydana gelen toplam kaza sayısı 2734 olarak belirtilmektedir. Rapora göre bu kazaların 69'u çarpışma şeklinde, 705'i trenin şahsa çarpması şeklinde ve 901'i ise geçit çarpışması şeklinde olan kazalardır. Kazalarda trenin şahsa çarpması sonucu hayatını kaybeden insan sayısı 420 ve geçit çarpışmaları sonucu meydana gelen ölümlerdeki sayı ise 245'dir [1]. İstatistiki verilerin de gösterdiği gibi kazalardaki insan hayatının kaybı ve bununla beraber maddi hasar oldukça yüksektir.

Demiryollarında tren hareketinin haricinde hareket halinde olan objeler, özellikle geçitlerde (hemzemin geçit vs gibi) meydana gelen kazalarda etken olarak ön plana çıkmaktadır. Örneğin geçitlere yaklaşmakta olan bir trenin önündeki demiryolları üzerinden geçmekte olan araç veya insan benzeri objelerin tespiti, bu kazaların önlenmesinde önemli bir çözüm olacaktır. Dolayısıyla tren çarpışma uyarı sistemi ve makinistlere yardımcı olarak engel bulma sistemleri oldukça önem kazanmaktadır. Özellikle geçit kazalarındaki faktörler analiz edilerek potansiyel çözümlerin bulunması gerekmektedir.

Engel bulma amaçlı olarak sistemlerde lazer sensör, radar vs benzeri donanımlar yaygın olarak kullanılmasına rağmen, bu sensörler donanımsal kısıtlamalardan dolayı yeterli fonksiyonel bilgiyi sağlamamaktadırlar. Özellikle bu sensörlerle dış ortamın bir dereceli olarak tarandığı durumlarda, ince engellerin bulunamaması gibi durumlar ortaya çıkacaktır [3]. Buna ilave olarak tespit edilen engellerin ne olduğu hakkında detaylı bilgi verebilmek ve doğru bir sınıflandırma yapmak mümkün olmamaktadır.

Bir bilgisayarla görme sistemi, engellerin tanınması ve sınıflandırılması açısından çok önemli bir veri toplama kaynağıdır. Buradaki problem ise video görüntülerinin çok detaylı bilgi içermesi ve dolayısıyla gerçek zamanlı uygulamalarda gerekli bilginin çok kısa bir sürede çıkartılmasının çok fazla mümkün olmamasıdır. Bir diğer problem ise engel tanımada vision sisteminin yanı sıra lazer, radar benzeri donanımların kullanılması durumunda, bu tarz sistemlerden gelen verinin vision sistemi ile koordineli olarak değerlendirilmesinde ortaya çıkmaktadır. Bu problemlere rağmen gelişen bilgisayar sistemleri ve bilgisayarla görme algoritmaları sayesinde bir çok gerçek zamanlı uygulama için bilgisayarla görme sistemleri tek başına yeterli ve gerekli olan bilgiyi vermektedir.

Dış ortamın üç boyutlu yapısının çıkartılması, engel tespit etme ve benzeri problemler için geliştirilen bilgisayarla görme tekniklerinin çoğunluğunda stereo kamera sistemi kullanılmaktadır. Stereo sisteminin kullanıldığı uygulamalarda gerçek zamanlı çalışma kısıtlamalarından dolayı seyrek (sparse) karşılaştırma metodları kullanılmaktadır. Fakat bu tarz yöntemler, ortamın 3B yapısını oldukça yetersiz olarak çıkartacaklardır [4]. Ortamın yapısı hakkında daha doğru ve detaylı bilgi alabilmek için seyrek karşılaştırma yöntemleri yerine yoğun (dense) karşılaştırma yöntemleri tercih edilmektedir. Yoğun karşılaştırma yöntemlerinin çoğunluğunun uygulanması ise gerçek zamanlı uygulamalardaki kısıtlamalardan dolayı çok fazla maliyetli olmaktadır.

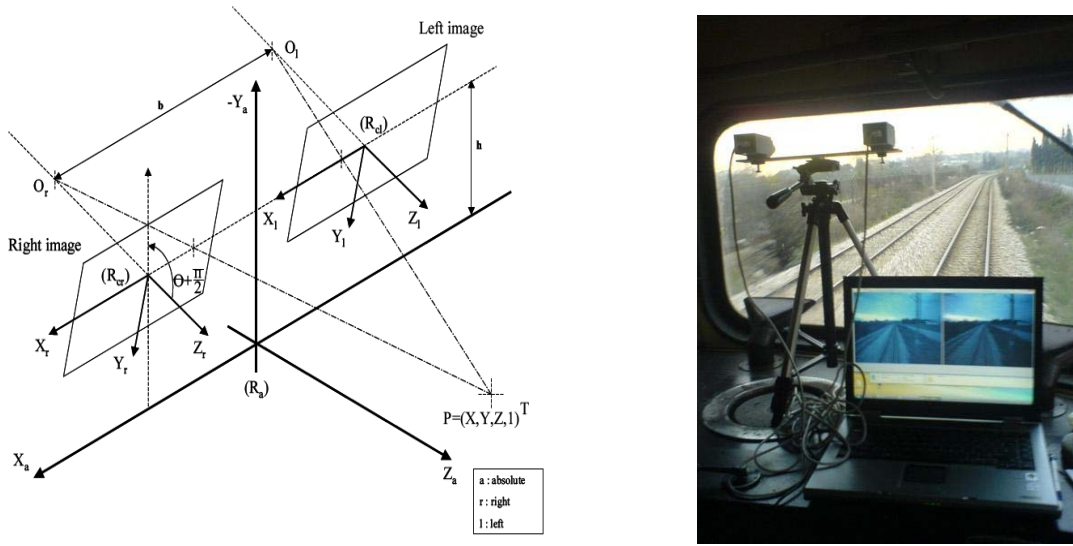
Bu seminer çalışmasında, ileri doğru bakacak şekilde lokomotif monte edilmiş iki kameralı bir vision sisteminden elde edilen görüntüler üzerinde çalışılacaktır. Sistemden alınan video görüntülerinden, tren hareketinin haricinde, demiryollarında hareket halinde olan objelerin bulunması için “U-V-disparity” görüntüleri yardımıyla bir bilgisayarla görme algoritmasının uygulanması amaçlanmaktadır. Bu yöntem, disparity değerlerinin kullanıldığı belli bir oylama mantığına göre elde edilen görüntülerden, engellerin tespit edilmesinde ve yolun boylamsal profili hakkında bilgi edinilmesinde oldukça yararlı bir yöntem olarak kullanılmaktadır.

Bu seminer raporunun genel yapısı aşağıdaki gibidir. Öncelikle çalışma için hazırlanan kamera sistemi ikinci kısımda anlatılmaktadır. Üçüncü kısımda, engel bulma için kullanılan U-V-disparity yöntemi yer almaktadır. Dördüncü bölümde ise deneylerden

elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Sonuçların yorumlanması ve ileriye dönük planlara son bölümde yer verilmiştir.

2. Kamera Sistemi

Bu seminer çalışmasında ihtiyaç duyulan video görüntüleri için T.C Devlet Demiryolları'nın İstanbul Haydarpaşa-Adapazarı arasında çalışan bir lokomotifine, tren yoluna bakacak şekilde aynı tipte iki adet kameradan oluşan bir kamera düzeneği hazırlanmıştır. Bu iki istasyon arasındaki mesafe yaklaşık olarak 150 km'dir ve rota üzerinde çok sayıda istasyon, hemzemin geçit bulunmaktadır. Video görüntüleri gerçek zamanlı olarak (640 x 480 çözünürlük, 24 f/s) lokomotifin ön tarafında yer alan bilgisayar ve kamera düzeneği ile alınmıştır. Şekil-1 lokomotifin iç tarafında yer alan kamera düzeneğini ve stereo koordinat sistemini göstermektedir.



Şekil 1. Stereo-vision and koordinat sistemi

Stereo sisteminde iki görüntü (image) düzleminin demiryolundan aynı yükseklikte ve kameraların epipolar çizgilerinin paralel olması gerekmektedir. Şekil-1 soldaki koordinat sisteminde R_a (demiryolu koordinat sistemi), R_{cl} (sol kamera), R_{cr} (sağ kamera), θ (kameraların optic eksen ile yatayla yaptıkları açı), h (kameraların demiryolundan yükseklik değeri) ve b (kameralar arasındaki baseline mesafesi) bilgileri gösterilmektedir.

Bu seminer çalışmasında uygulanacak “v-disparity” yönteminin görüntü düzlemindeki hesaplamaları aşağıdaki formüllerle gerçekleştirilir [2]:

R_a üzerinde yer alan 3B dünya düzlemindeki bir $P(X, Y, Z, 1)^T$ noktası için, sol ya da sağ görüntü üzerindeki bu noktanın projeksiyonu: $v = v_l = v_r$,

$$v = \frac{[v_0 \sin \theta + \alpha \cos \theta](Y + h) + [v_0 \cos \theta - \alpha \sin \theta]Z}{(Y + h) \sin \theta + Z \cos \theta} \quad (1)$$

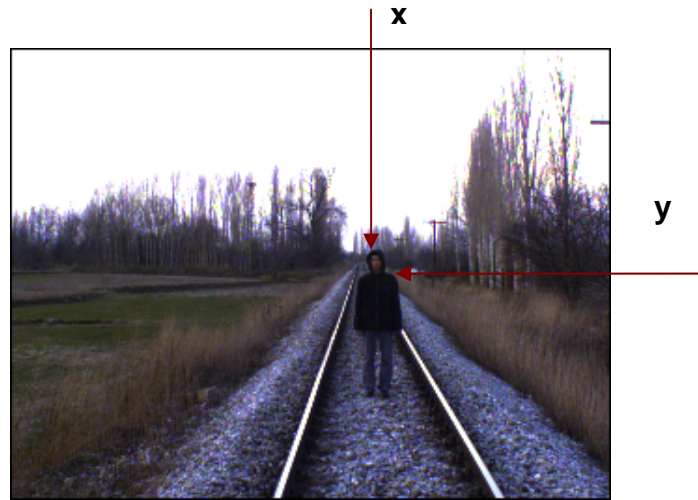
formülü ile bulunur.

P noktasının disparity değeri denklem 2 ile bulunur.

$$\Delta = u_l - u_r = \frac{\alpha b}{(Y + h) \sin \theta + Z \cos \theta} \quad (2)$$

3. U-V-disparity yöntemi ve uygulanan algoritmanın temel basamakları

Bu bölümde “U-V-disparity” yöntemi ile demiryollarında hareket halinde olan objelerin bulunması için uygulanan bilgisayarla görme algoritmasının aşamaları anlatılmaktadır. Şekil-2’de gösterildiği gibi demiryolu üzerinde yer alan bir engelin, görüntü üzerinde yerinin tespiti için öncelikle stereo sisteminden gelen (sol kamera ve sağ kameradan alınan) görüntülerin “rectification” işlemi gerekmektedir.



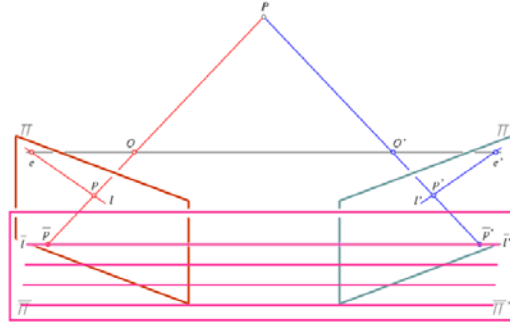
Şekil 2. Demiryolu videosuna ait herhangi bir frame

Bu aşamalardan sonra uygulanacak algoritma sırasıyla:

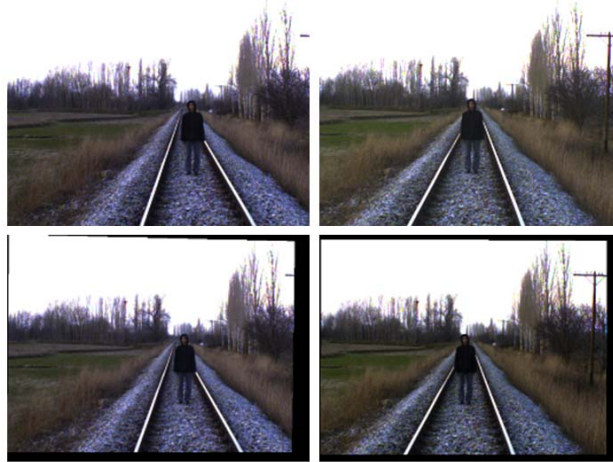
1. Disparity görüntünün oluşturulması
2. U-V-disparity görüntülerin hesaplanması
3. Engellerin yerlerinin bulunması

3.1 Stereo Rectification

Stereo karşılaştırma problemi, görüntülere “rectification” işlemi uygulanırsa daha kolay ve etkin bir şekilde çözülebilir. Bu aşamada sol ve sağ kameradan alınan görüntülerde epipolar çizgilerin yatay olarak hizalanması için transformasyon işlemi uygulanır. Şekil-3’de epipolar çizgilerin yatay hale getirilmesi gösterilmektedir. Bu işlem sağlandıktan sonra görüntülerde stereo karşılaştırma işlemi tek boyuta indirgenerek, satırlar üzerindeki her bir nokta ya da özellik(feature) noktaları arasındaki fark kolaylıkla bulunabilir [10]. Şekil-4’de ise örnek bir test görüntüsü için bu transformasyon gösterilmektedir.



Şekil 3. Stereo rectification



Şekil 4. Stereo rectification: üst (sol ve sağ görüntüler), alt (rectification işlemi sonrasındaki görüntüler)

3.2 Disparity Görüntünün Oluşturulması

Disparity görüntünün oluşturulması karşılaştırma yöntemine göre farklılık gösterecektir. Yoğun (dense) karşılaştırma yöntemi uygulanacaksa tüm piksel noktaları için, seyrek (sparse) karşılaştırma yöntemi uygulanacak ise özellik(feature) noktalar için disparity hesaplaması yapılır. Seyrek (sparse) karşılaştırma yöntemi kullanılması ortamın 3B yapısını oldukça yetersiz olarak çıkartacaktır. Dolayısıyla bu çalışmada yoğun (dense) karşılaştırma yöntemi temel alınarak, disparity görüntü oluşturulmaktadır.

Test görüntülerdeki tüm noktaların karşılaştırılması için farklı metotlar kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları Mutlak Fark (Absolute Difference), Ortalama Kare Hata Bulma (Mean Square Error) ve Normalize Kros Korelasyon (Normalized Cross Correlation, NCC) metotlarıdır. Bu seminer çalışmasında tüm piksel noktaların karşılaştırılması için hızlı çalışması ve ortamın parlaklık durumlarına daha az duyarlı olması sebebiyle Normalize Kros Korelasyon (Normalized Cross Correlation, NCC) yöntemi uygulanmıştır.

Normalize Kros Korelasyon (Normalized Cross Correlation, NCC):

$$NCC = \frac{\sum_{(i,j) \in W} (f_1(i,j) - \bar{f}_1)(f_2(i,j) - \bar{f}_2)}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in W} (f_1(i,j) - \bar{f}_1)^2 (f_2(i,j) - \bar{f}_2)^2}} \quad (3)$$

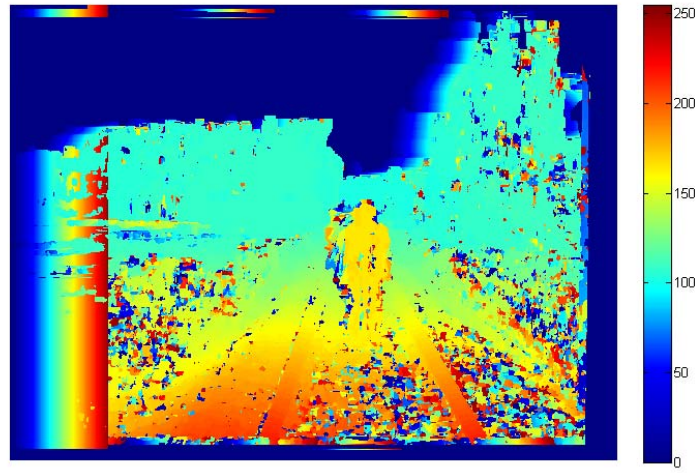
$f_k(i,j)$ herhangi bir k bloğunu, \bar{f}_k bloğun ortalama değerini, W ise pencereyi göstermektedir.

Bu yöntem her bir nokta (piksel) için bir blok oluşturur. Bu blok üzerinden NCC (denklem-1) hesaplanır. Maksimum NCC değerini veren nokta (piksel), karşılık gelen nokta olarak belirlenir.

Şekil-5 ve Şekil-6'da örnek test görüntü çifti için NCC metodu ile elde edilen disparity görüntü gösterilmektedir.



Şekil 5. Disparity görüntünün hesaplanması



Şekil 6. Disparity görüntünün hesaplanması: farklı disparity değerleri farklı renklerle gösterilmiştir.

3.3 V-disparity görüntünün hesaplanması

Disparity görüntü elde edildikten sonraki aşama olan V-disparity görüntünün oluşturulması gerçekleştirilir. Bu aşamada şekil-6'da gösterildiği gibi v eksenini boyunca disparity görüntüdeki aynı değerde olan disparity değerleri toplanır.

I_{Δ} : NCC ile elde edilen disparity görüntü olsun.

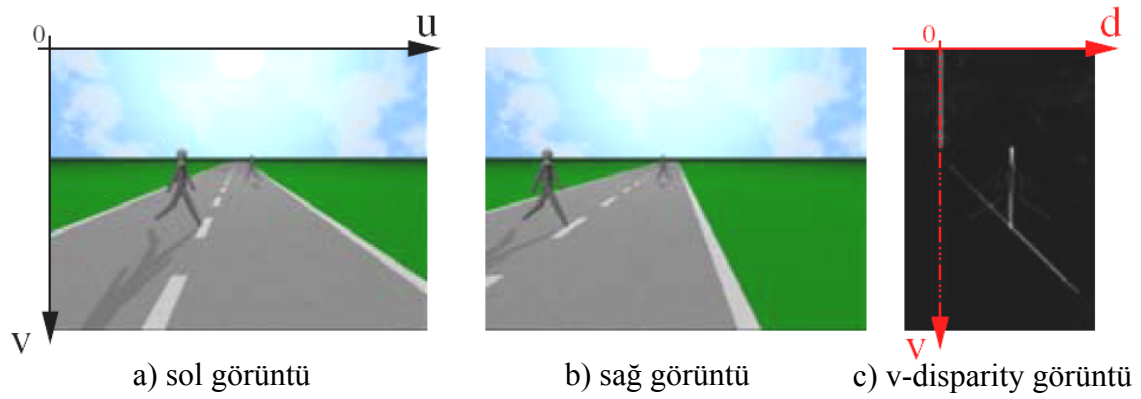
H : disparity görüntüde herhangi bir satırdaki aynı disparity değerine sahip noktaları toplayan fonksiyon olsun.

$I_{v\Delta}$: elde edilecek v-disparity görüntü olsun.

Denklem 4, v-disparity görüntünün hesaplanmasını göstermektedir.

$$I_{v\Delta} = H(I_{\Delta}) \quad (4)$$

Şekil 6'da sağdaki görüntüde verilen sentetik stereo çifti için hesaplanan v-disparity görüntü gösterilmektedir. Görüntüdeki d disparity değerlerini, v ise satır sayısını göstermektedir.



Şekil 6. V-disparity görüntünün hesaplanması

3B dünya düzleminde dik olan yüzeyler, v-disparity görüntüde dik yüzeyleri oluştururken, yatay düzlemler ise v-disparity görüntüde eğik yüzeyleri oluşturmaktadır. Şekil-6'da görüldüğü gibi yol bilgisi, v-disparity görüntüde eğik çizgiyi oluştururken, en yakın yarıdan gelen bilgiler ise dik olan çizgiyi oluşturmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi v-disparity görüntüdeki eğik olan çizgi ile yolun boylamsal profili hakkında bilgi edinilebilmektedir.

Özet olarak v-disparity görüntüde dik olan çizgiler ile 3B dünya düzlemindeki dik objeler gösterilmektedir. Bu da yol üzerindeki engel olabilecek objelerin tespitinde en yararlı bilgiyi içermektedir. Şekil-7'de seminer çalışmasındaki test görüntülerinden elde edilen v-disparity görüntüden de anlaşılacağı gibi demiryolu üzerindeki insandan gelen disparity bilgileri, v-disparity görüntüde dik olan çizgiyi göstermektedir.

3.4 Yanal (lateral) bilgi için U-disparity görüntünün hesaplanması

Dikey yüzeylerin bulunmasının yanı sıra engellerin yerlerinin doğru tespiti için yatay konumdaki yerinin de tespiti gerekmektedir. U-disparity görüntünün oluşturulması bu bilginin elde edilmesinde önemli bir aşamadır. U-disparity görüntü, v-disparity görüntünün aksine sütunlar üzerindeki aynı disparity değerlerine sahip noktaların toplanarak oluşturulması ile elde edilir. Bu görüntü sayesinde dikey olan yüzeylerin yatayda oluşturacakları çizgilerden yerlerin tespiti gerçekleştirilmektedir. Şekil-8'de örnek test görüntüsünden elde edilen u-disparity görüntü yer almaktadır.

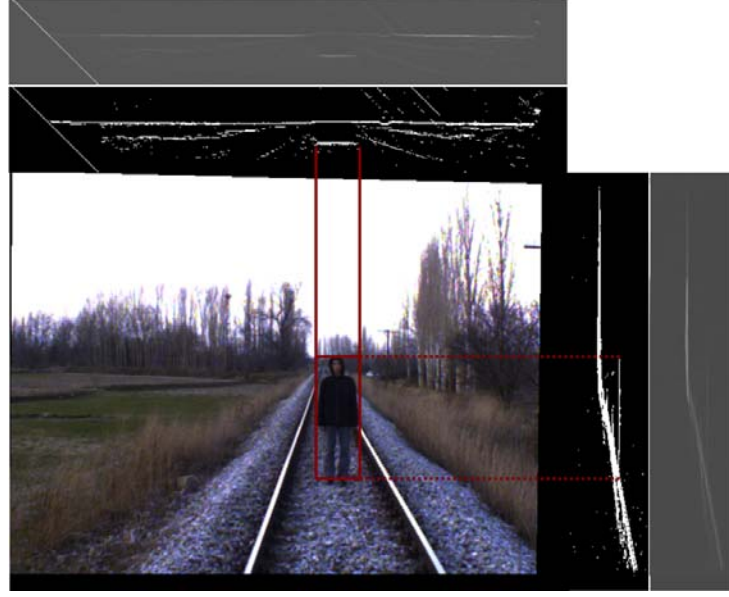


Şekil 7. a) test görüntü b) v-disparity

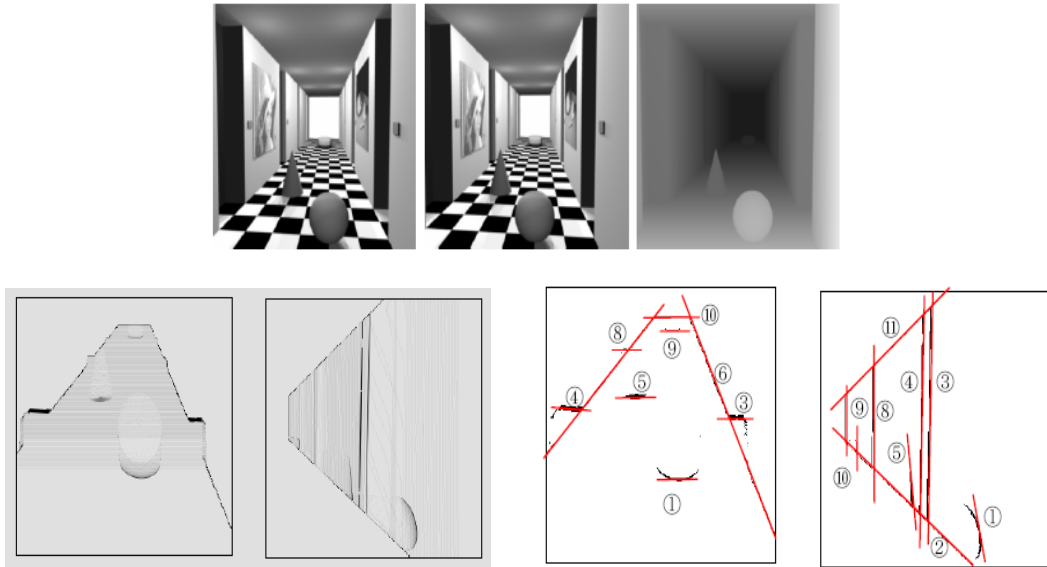
3.5 Engellerin yerlerinin belirlenmesi

Bir engelin yerinin tespiti için yolun boylamsal profiline, engelin yüksekliğine ve yanal pozisyon bilgisine ihtiyaç vardır. Yolun boylamsal profili ve engelin yükseklik bilgisi v-disparity görüntüden, engelin yanal pozisyon bilgisi ise u-disparity görüntüden elde edilmektedir. Sonuç olarak her iki görüntüden (V-disparity ve U-disparity) dikey ve yatay çizgilerin koordinat noktalarının kesişimi ile görüntü üzerindeki engelin piksel cinsinden yeri bulunmaktadır. Disparity değerleri ve kalibrasyon verileri kullanılarak stereo

üçgenleme yöntemi ile engelin gerçek dünya düzlemi üzerindeki 3B noktalarının yeri tespit edilebilir. Şekil-8’de test görüntü üzerinde u-v-disparity görüntülerden gelen bilgilerin kesişimi ile demiryolu üzerindeki engelin yeri kolaylıkla tespit edilebilmektedir.



Şekil 8. Engelin yerinin görüntü üzerinde tespit edilmesi Üst: u-disparity, eşik değeri ile u-disparity, orta: test görüntü, sağ: eşik değeri ile v-disparity, v-disparity

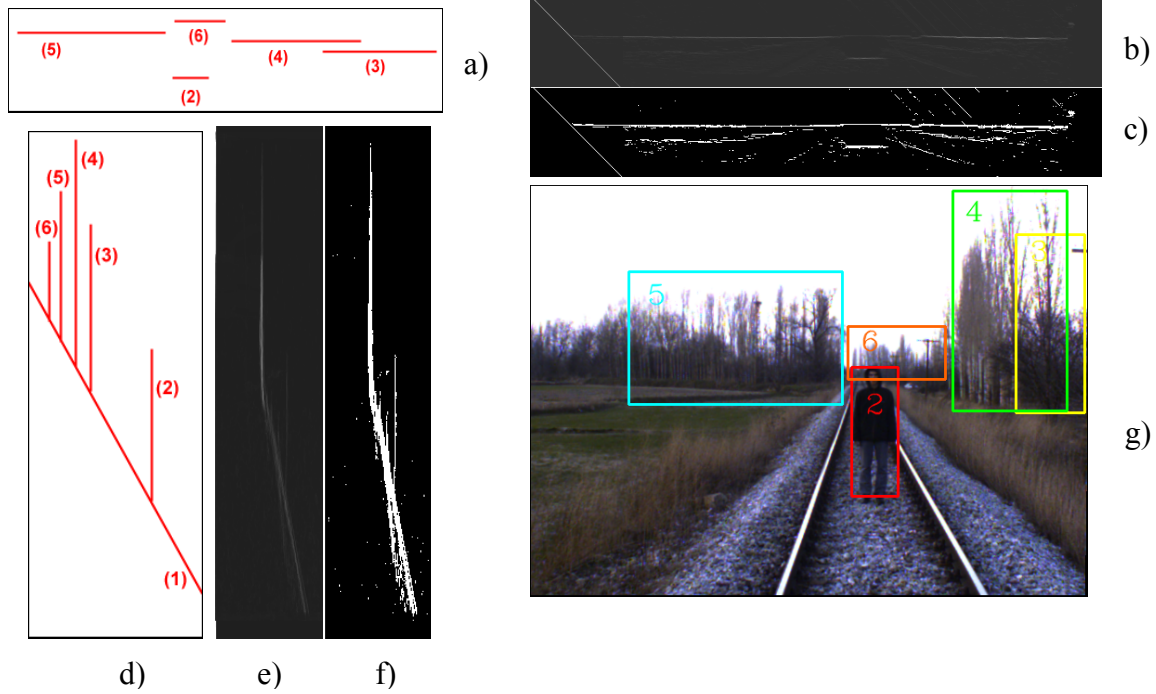


Şekil 9. Engelin yerinin görüntü üzerinde tespit edilmesi üst: sol, sağ ve disparity görüntü, alt: sırasıyla u-disparity, v-disparity, u-disparity tanım kümesi ve v-disparity tanım kümesi

V-disparity yöntemi kullanarak engellerin yerlerinin belirlenmesindeki temel problem yakın dikey yüzeylerin birbirlerinden doğru bir şekilde ayırt edilememesidir. Şekil-9’da örnek sentetik görüntülerden elde edilen v-disparity ve u-disparity görüntülerdeki yatay ve dikey çizgilerin karşılaştırılması numaralandırılmış olarak gösterilmektedir [5].

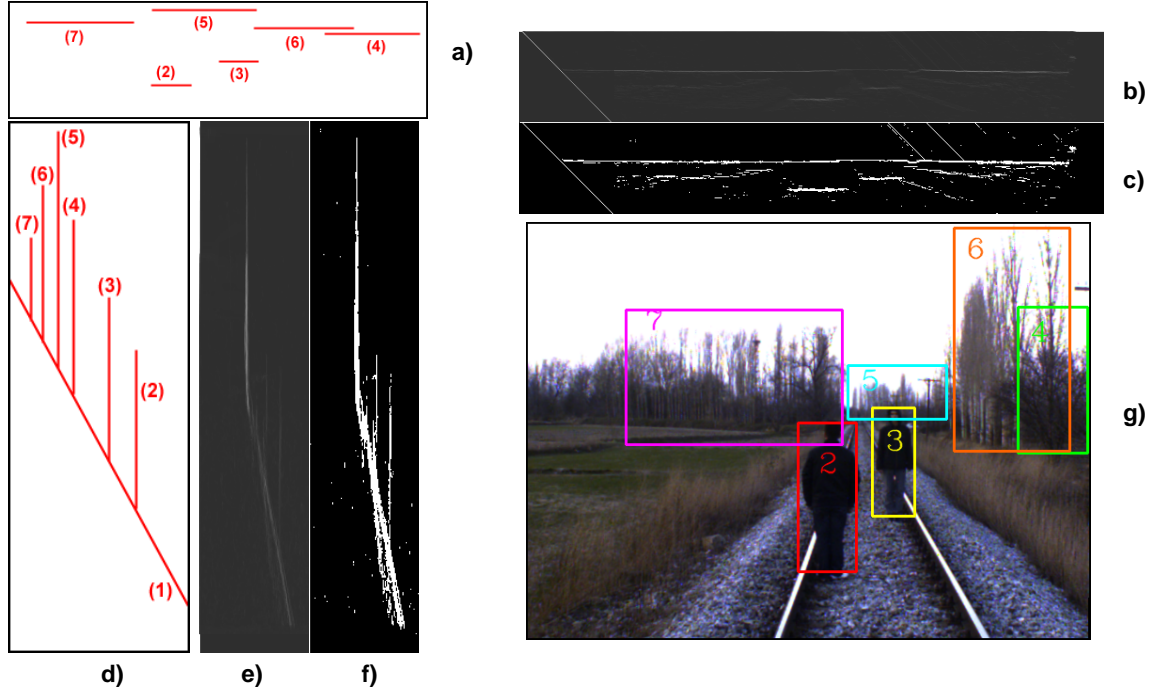
4. Deneysel Sonuçlar

U-V-Disparity yöntemi demiryolu görüntülerine uygulanarak elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Bulunan dikey yüzeyler için herhangi bir sınıflandırma yapılmaması nedeniyle demiryolu görüntülerindeki mevcut olan tüm dikey yüzeyler engel olarak gösterilmektedir. Deney görüntülerinde u-v-disparity yönteminin genel olarak başarılı sonuçlar verdiği gözükmektedir. Özellikle demiryolu üzerindeki objelerin tespiti doğru bir şekilde yapılabilmektedir. Fakat eğer yatay düzlemin üzerindeki dik yüzeyler çok yakın sıklıkta yer alıyorsa bunları birbirinden ayırt edebilmek ve u-v-disparity görüntülerdeki yatay ve dikey çizgileri karşılaştırmak oldukça zor bir durum haline gelmektedir.



Şekil 10. Yüzeylerin bulunması a)u-disparity tanım kümesi, b)u-disparity, c) eşik değeri ile u-disparity, d)v-disparity tanım kümesi, e)v-disparity, f)eşik değeri ile v-disparity, g)test görüntü

Örneğin şekil-10'daki görüntülerde tren yolundaki insan çok kolay olarak bulunabilmesine karşın görüntünün sağ tarafında yer alan ağaçlar arasındaki disparity değişimi az olduğundan ayırt edebilmek güçleşmektedir.

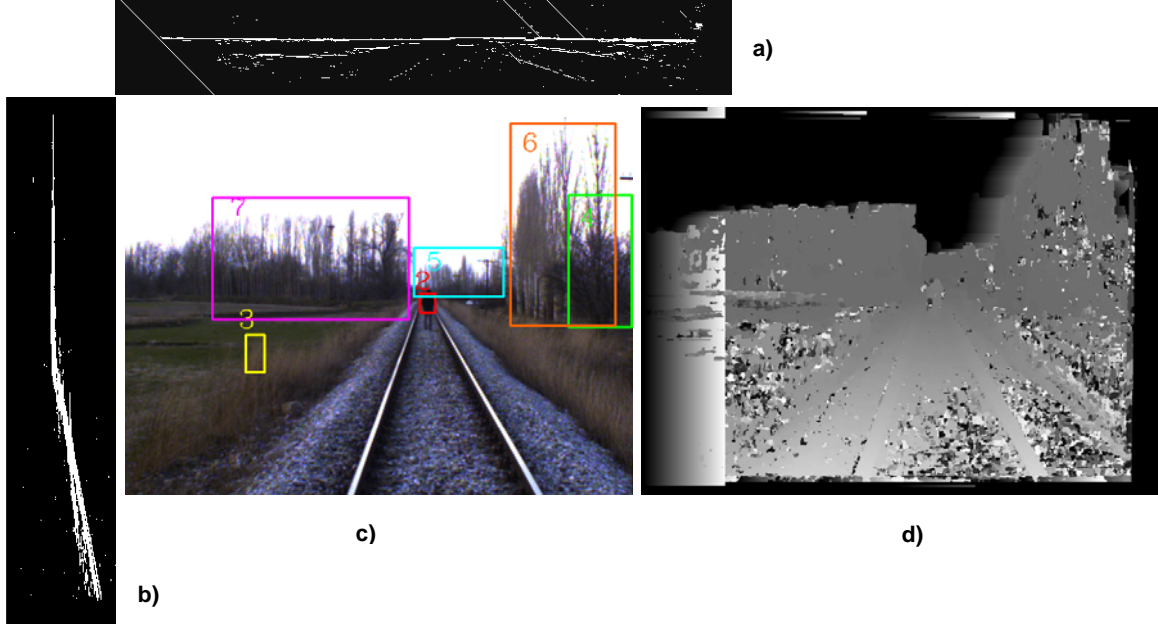


Şekil 11. Yüzeylerin bulunması a)u-disparity tanım kümesi, b)u-disparity, c)eşik değeri ile u-disparity, d)v-disparity tanım kümesi, e)v-disparity, f)eşik değeri ile v-disparity, g)test görüntü

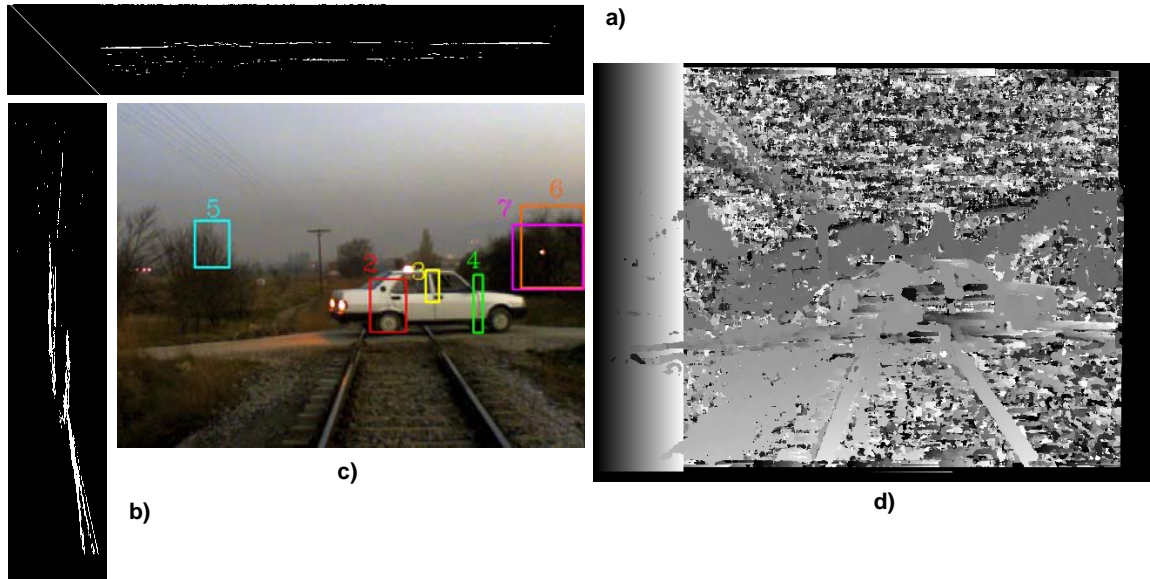
Benzer olarak şekil-11'de demiryolu üzerinde yer alan iki insan doğru bir şekilde bulunabilmektedir. Şekil-11 soldaki ve üstteki görüntüler ise u-disparity ve v-disparity görüntüleri ile bu görüntülerde yer alan çizgilerin karşılaştırılmasını göstermektedir. U-V-disparity görüntülere bir eşik değeri uygulanarak dikey ve yatay çizgilerin daha kolay tespitinin yapılması amaçlanmıştır. Buna ilave olarak çizgilerin kolayca çıkartılması için hough transform gibi yöntemlerde u-v-disparity görüntülere uygulanabilir.

U-V-disparity ile engel bulmada bir başka durum ise; stereo teoreminden derinlik ve disparity ters orantılı olarak değiştiği için, çok uzakta yer alan objelerin disparity değişimi küçük olacağından, bu engellerin arka plandan seçilebilmesi ayrı bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil-12'de bu duruma örnek olarak demiryolu üzerindeki

insanın bulunması, daha önceki görüntüye göre daha zor tespit edilmektedir. Eğer en arkadaki ağaçlık alana yakın olarak demiryolu üzerinde daha uzakta bir engel olursa, bu engelin ağaçlık bölgeden ayrı olarak doğru bir şekilde tespit edilmesi bu yöntemle mümkün olmayacaktır.



Şekil 12. Yüzeylerin bulunması ve engellerin tespiti a) eşik değeri ile u-disparity, b) eşik değeri ile v-disparity, c) test görüntü ve d) disparity görüntü.



Şekil 13. Yüzeylerin bulunması ve engellerin tespiti a) eşik değeri ile u-disparity, b) eşik değeri ile v-disparity, c) test görüntü ve d) disparity görüntü.

Son olarak Şekil-13'te hemzemin geşitten geçmekte olan bir aracın u-v-disparity ile bulunması gşsterilmektedir.

5. Sonuç ve Gelecekte Yapılacak alışmalar

Bu seminer çalışmasında, tren hareketinin haricinde, demiryollarında hareket halinde olan objelerin bulunması için u-v-disparity gşrüntüleri ile bir bilgisayarla gşrme algoritmasının demiryolu gşrüntülerine uygulanması gerçekleştirildi. Deneysel sonuçlarda detaylı olarak belirtildiği gibi u-v-disparity yaklaşımı ile genel olarak demiryolları gşrüntülerindeki dikey yüzeyler başarılı bir Şekilde bulundu. Bulunan dikey yüzeyler arasında herhangi bir sınıflandırma yapılmadığı için belli bir eşik değerinin üstündeki dikey olan her yüzey engel olarak dikkate alındı. Bu durumda demiryolunun üzerindeki insan, araç ve benzeri objelerin yanı sıra arkaplan olarak kabul edilebilecek ağaç, direk benzeri dikey yüzeye sahip objeler de engel olarak algılanmaktadır. Bu durumun önlenbilmesi için bir ileri çalışmaya daha ihtiyaç vardır. Bu da öncelikle “demiryolu üzerinde olan dikey yüzeylerin engel olabileceği bunun dışında kalanların ise dikkate alınmayacağı” Şeklinde bir yaklaşım ile demiryolu üzerinde olan engeller tespit edilebilir. Bunun için öncelikle demiryolu bilgisinin tüm gşrüntüden çıkartılması gerekmektedir.

İleri çalışmalarda engellerin sınıflandırılması, özellikle uzakta yer alan engellerin bulunabilmesinin sağlanması ve demiryolu bilgileri çıkartılarak sadece üzerindeki ya da çok yakınında yer alan engellerle ilgilenilmesi amaçlanmaktadır.

Kaynakça

- [1] T.C.D.D İstatistik Yıllığı, 2003-2007. <http://www.tcdd.gov.tr/genel/istatistik.htm>
- [2] Raphael Labayrade, Didier Aubert ve Jean-Phillippe Tarel: Real Time Obstacle Detection in Stereovision on Non Flat Road Geometry Through “V-disparity” Representation, IEEE Transactions On Intelligent Vehicle Symposium, 2002.
- [3] Alberto Broggi, Claudio Caraffi, Rean Isabella Fedriga ve Paolo Grisleri: Obstacle Detection with Stereo Vision for Off-Road Vehicle Navigation, CVPR’05.
- [4] N.Hautiere, R.Labayrade, M.Perrollaz ve D. Aubert: Road Scene Analysis by Stereovision: a Robust and Quasi-Dense Approach, ICARCV06.
- [5] Zhencheng Hu, Francisco Lamosa ve Keiichi Uchimura: A Complete U-V-Disparity Study for Stereovision Based 3D Driving Environment, Proceedings of the Fifth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM’05).
- [6] Yi Wei, Yu Li ve Shushu Hu: On-road Obstacle Detection based on Stereovision Analysis, Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Harbin, China, August 5-8, 2007.
- [7] N. Sukanuma, N.Fujiwara: An Obstacle Extraction Method Using Virtual Disparity Image, Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, Turkey, June 13-15, 2007.
- [8] Claudio Caraffi, Stefano Cattani ve Paolo Grisleri: Off-Road Path and Obstacle Detection Using Decision Networks and Stereo Vision, IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, Vol. 8, No: 4, December 2007.
- [9] Nicolas Soquet, Didier Aubert ve Nicolas Hautiere: Road Segmentation Supervised by an Extended V-Disparity Algorithm for Autonomous Navigation, in Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 13-15 June 2007, pp. 160–165.
- [10] Marc Pollefeys, Reinhard Koch ve Luc Van Gool: A simple and efficient rectification method for general motion, IEEE ICCV’99.
- [11] Kunsoo Huha, Jaehak Park, Junyeon Hwang, Daegun Hong: A stereo vision-based obstacle detection system in vehicles, Optics and Lasers in Engineering, 2008.