

STEREOFOTOGRAMETRİK SÜRÜŞ DESTEK SİSTEMİ

E. ÖZDEMİR, Ö. ÇORUMLUOĞLU, İ. ASRİ

*İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
Harita Mühendisliği Bölümü, İzmir, emre.ozdemir@ikc.edu.tr,
ozsen.corumluoglu@ikc.edu.tr, ibrahim.asri@ikc.edu.tr*

Özet

Araç sayısının her geçen gün artmasıyla, trafik gerek araçlar gerekse yayalar için daha tehlikeli bir çevre haline gelmektedir. Trafikte her yıl kazalar sonucu, binlerce ölüm gerçekleşmekte, yaralanmalar olmakta ve milyarlarca lira maddi hasar oluşmaktadır. Bu kazaların en büyük sebebi olan sürücü kusurlarını olabildiğince azaltabilmek için gerek akademik kuruluşlar gerekse özel şirketler tarafından İleri Düzey Sürüş Destek Sistemleri (*Advanced Driving Assistance Systems / ADAS*) geliştirilmektedir. Hâlihazırda bulunan sistemlerde RADAR ve lazer gibi donanımlar kullanılmakta veya stereo kamera kurulumları ile derinlik haritaları üretilip, araç çevresindeki nesnelere konumları/hızları ile ilgili analizler yapılmaktadır.

Mevcut sürüş destek sistemlerindeki yaklaşımından farklı olarak bu çalışmanın amacı; iki kamera kullanılarak kamera görüş alanları içindeki aynı nesnelere (örneğin araçlar gibi) tespiti, bu nesnelere; kameralardan birinin çekim merkezine göre 3B konumlarının anlık olarak belirlenmesi, üç boyutlu bir koordinat sisteminde stereo fotogrametri tekniği ile takip edilmesi ve hızlarının hesaplanmasıdır. Çeşitli görüntü işleme algoritmalarının çalıştırılması ve stereofotogrametrik değerlendirme tekniklerinin kullanımı; yukarıda belirtilen amaçlar ulaşmada kullanılan yöntemlerin temelini oluşturmaktadır. Kullanılan görüntü işleme algoritmaları ile tespit edilen detayların, resimler üzerinden ölçüm işlemleri stereofotogrametrik değerlendirme aşamasında yapılmaktadır. Obje belirleme algoritması ile görüntü üzerinde nesnelere tespitleri yapılmakta, köşe çıkarım algoritması ile belirlenmiş bu nesnelere üzerindeki köşe noktaları belirlenmekte ve rölatif konum bilgileri üretilmektedir. Ardından, resim çiftleri üzerinde belirlenen bu noktalar birbirleriyle eşleştirilip stereofotogrametrik değerlendirme aşamasında da resim ölçmeleri tamamlanmaktadır. Stereofotogrametrik değerlendirmede, videonun her bir karesi için, nesnenin yerel koordinat sistemindeki konumu üç boyutlu olarak belirlenmektedir. Kullanılan bu yöntemler ile herhangi bir sürüş destek sisteminde gereksinim duyulacak doğrulukta anlık konumsal veri üretilebilmektedir.

Abstract

Traffic is being a more and more dangerous place for both cars and pedestrians, as it is getting more crowded day by day. There have been thousands of deaths, injuries and billions of financial damages because of accidents in traffic. To reduce the top reason of these accidents, which is drivers' errors, academic institutions and private corporations have still been developing systems, which are called Advanced Driving Assistance Systems (ADAS). So far, developed systems generally use equipment like RADAR or laser while some of them use stereo camera setups to produce depth maps for the purpose of monitoring the objects around the car and make analysis about their positions or speeds.

The goal of this study which differs from current approaches, is to produce 3D positions and calculate speed of objects (e.g. cars), which are in field of view, in real-time with respect to the camera's location using stereophotogrammetry technique. Various image processing algorithms and stereophotogrammetry

technique are the base methods to be used to realize these purposes. With image processing algorithms, image measurements of details of detected items are handled during stereophotogrammetric evaluation. Object detection algorithms are employed to locate desired object(s) on images. Then, corner points of these detected objects are identified with corner detection algorithms and relative location information is produced. Subsequently, the identified points are matched on stereo image couples to conclude image measurements for stereophotogrammetric evaluation. In stereophotogrammetric evaluation, for every frame of video, local coordinates of the object is determined in 3D. With the methods used, spatial data needed for any driving assistance system can be produced in real time within necessary accuracy.

1. Yöntem

Bu çalışmada stereofotogrametri ile üretilecek eş zamanlı üç boyutlu konum verisinin bir sürüş destek sisteminde kullanılabilirliği irdelenmektedir. Seçilen yöntemlerin bu kapsama uygun olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda üç boyutlu konum verisini üretmek üzere stereofotogrametri tekniği kullanılmaktadır. Stereofotogrametrik değerlendirme işleminin otomasyonunun sağlanabilmesi amacıyla da dijital görüntü işleme algoritmaları kullanılmaktadır.

1.1 Dijital Görüntü - Dijital Görüntü İşleme Yöntemleri:

Dijital, kelime olarak sayısal olarak dilimize çevrilmektedir. Dijital fotoğraf ise bir fotoğrafın, görüntünün, sayısal olarak ifade edilmişidir. Dijital görüntü, bilgisayar ortamında (dijital ortamda) matrisler halinde saklanır. Dijital bir görüntüyü oluşturan yapı taşları piksel olarak adlandırılır. Dijital görüntüyü oluşturan bu piksellere ait değerler sayısal numaralar (*digital numbers*) olarak adlandırılır (Kumar, 2003). Dijital görüntülerde, elektromanyetik spektrumda yer alan dalga boyları ayrı birer bant olarak ifade edilir. Örnek vermek gerekirse, bir cep telefonu kamerası ile çekilen renkli bir fotoğraf üç ayrı bantta görüntünün kaydedilmesi ile oluşur. Bu bantlar kırmızı, yeşil ve mavidir. Her pikselin her bantta ayrı sayısal numara değerleri bulunur. Bu değerler, her bant için ayrı matrislerde kayıtlanır. Her bant için kayıtlı tutulan matrislerin birlikte gösterimi ile dijital bir görüntü, gösterilmiş olur.

Dijital görüntü işleme, yukarıda bahsi geçen dijital görüntülerin, hedeflenen sonuç görüntüsüne ya da yoruma ulaşıncaya dek yapılan işlemler dizisidir. Bu işlemlerde ham veri her zaman, yukarıda da bahsi geçen, matrislerdir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan sayısal görüntü işleme teknikleri, obje tanıma, detay çıkarımı ve çıkarılan detayların eşleştirilmesine yönelik seçilmiştir.

Obje tanıma algoritması ile eş zamanlı olarak, her iki kameradan edinilen görüntüler üzerinde çalışılarak araçlar ile plakaları, yayalar, trafik ışıkları ve tabelalar gibi nesnel tanımlanabilmektedir (bu çalışmada yalnızca araç takip edilecektir). Bu aşamada kullanılan olan algoritma Viola-Jones Algoritmasıdır (Viola & Jones, 2004). Bu algoritmanın üç önemli aşaması mevcuttur. Birinci önemli aşamada integral görüntü (integral image) oluşturulur.

Aşağıda integral görüntünün hesaplanması basitleştirilmiş bir şekilde şematize edilmiştir. Oluşturulan integral görüntüdeki her bir piksel, kendisinin sol ve yukarısındaki piksellerin değerleri toplamından oluşmaktadır. Örneğin görselde 1 ile numaralandırılmış piksel, A bölgesindeki piksellerin toplam değerine eşittir. Benzer şekilde 4 ile numaralandırılmış piksel, sol ve yukarısındaki A, B, C ve D bölgelerinde kalan piksellerin toplam değerine eşittir.

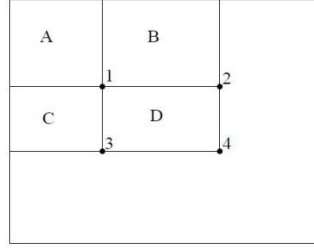


Figure 2: The sum of the pixels within rectangle D can be computed with four array references. The value of the integral image at location 1 is the sum of the pixels in rectangle A . The value at location 2 is $A + B$, at location 3 is $A + C$, and at location 4 is $A + B + C + D$. The sum within D can be computed as $4 + 1 - (2 + 3)$.

Şekil 1: İntegral Görüntünün Oluşturulma Esası

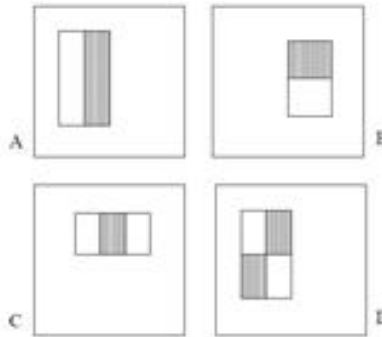
Algoritmanın ikinci önemli aşaması öğrenme algoritmalarından oluşmaktadır. Bu aşamada algoritma, verilen örnek veriler üzerinden kendi kendini eğitir. Aşağıda verilen denklemde, $h_j(x)$ bir sınıflandırıcı fonksiyondur. x , 24×24 boyutlarında görüntünün bir alt penceresidir, p_j benzerlik, θ_j eşik değeri temsil etmektedir.

$$h_j(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Şekil 2: Sınıflandırma Fonksiyonu

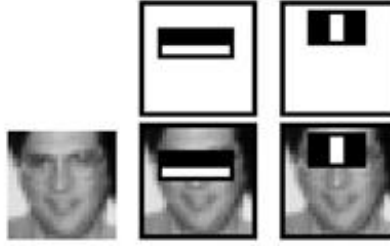
Algoritmanın üçüncü önemli aşaması ise görüntüdeki arka planı ayıklayan karışık bir yapıdır. Bu sayede çalışmaması gereken alanlar belirlenerek, işlem gücünden tasarruf sağlanmaktadır.

Aşağıda verilen görüntüde A, B, C ve D olmak üzere farklı dörtgen formdaki alt pencereler görülmektedir. Bu örnek dörtgenlere bakıldığında, gri ve beyaz bölgeler göze çarpmaktadır. Burada, beyaz bölgedeki pikseller toplamı, gri bölgedeki pikseller toplamından çıkartılarak çevresel bulma (enclosing detection) yapılmaktadır. Farklı tiplerdeki dörtgen modeller farklı tipteki objeler içindir. Örnek verecek olursak;



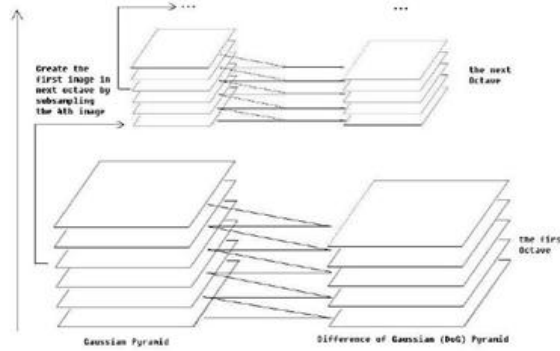
Şekil 3: Örnek Pencereleler

Aşağıdaki görüntüde bir insan yüzü için belirlenen alt pencereler görülmektedir. Bu pencerelerden ilki, biri siyah biri beyaz iki dörtgenden oluşmakta olup, insan yüzünün göz kısmı için, ikincisi ise soldan sağa siyah, beyaz ve tekrar siyah dörtgenlerden oluşmakta olup burun kısmı için eğitilmişlerdir.



Şekil 4: Algoritmanın Yüz Tanıma Amaçlı Kullanımı

Detay çıkarımı algoritmaları, görüntü içerisindeki köşe noktaları olarak ifade edilebilecek noktaları belirlemeye yarar. Bu yapıırken genel olarak piksel değerlerindeki değişim farklılıkları kullanılır. Piksel değerlerinin aniden değiştiği yerde nokta belirlenirken, değişim farkının az olduğu bölgeler ise anlamlı bir sonuç ifade edemeyeceğinden bu bölgelerden köşe noktası çıkarılamaz. Bu çalışma kapsamında SIFT (Scale Invariant Feature Transform/Ölçek Değişmez Nesne Dönüşümü (Lowe, 1999) algoritması kullanılmaktadır. SIFT algoritmasının dört adımı incelendiğinde algoritmanın genel mantığı kavranabilir. Algoritma ilk adımda Gauss piramidi farklarını çıkarır.



Şekil 5: SIFT Algoritması Piramitleri

Yukarıda piramitlerin genel çalışma mantığı verilmiştir. Görüntüler işlemlere tabi tutularak ölçek faktörleri ile ayırılmaktadır. Bu işlem iteratif şekilde sürdürülmektedir.

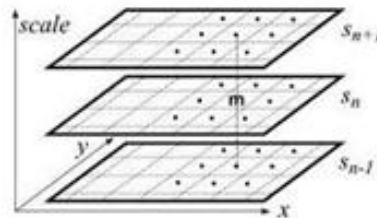
$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma)$$

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y)$$

$$G(x, y, \sigma) = (1/2\pi\sigma^2) * \exp \{ -(x^2 + y^2) / 2\sigma^2 \}$$

Yukarıda verilen denklemler ile piramitler hesaplanmaktadır. Burada σ genişliği ifade etmektedir. I girdi verilen görüntüyü, x ve y ise piksel konumunu ifade etmektedir.

Algoritma ikinci aşamada, hesaplanmış Gauss farklarındaki ekstremum (yerel maksimum ve minimum) noktalarını ikinci derece Taylor serisi açılımı ile belirler.



Şekil 6: Gauss Farklılıkları Şeması

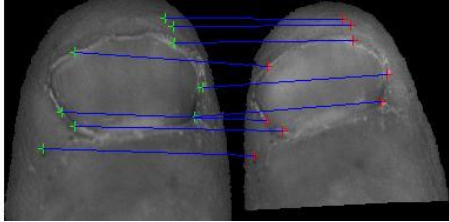
Yukarıdaki şemada de görüldüğü üzere, bir ekstremum değeri Gauss farklılıkları arasında, komşu ölçek uzayındaki herhangi bir değer olabilmektedir.

Sonraki adımda, bahsedilen yaklaşımlar ile belirlenen aday noktalar arasında bir eleme yapılır. Elenecek olan noktalar düşük zıtlığa (kontrast/karşıtlık) sahip olanlar veya konumları bir kenar üzerinde kalanlardır.

SIFT algoritmasına alternatif olarak SURF(Speeded-Up Robust Features/Hızlandırılmış Dengeli Nesnelere), FAST (Features from Accelerated Segment Test/Hızlandırılmış Segment Testinden Nesnelere) gibi farklı algoritmalar alternatif olarak kullanılabilir. Bu algoritmalar, obje tanıma algoritmasının çıktısı olan ilgi alanları (ROI/Region of Interest) içerisinde çalıştırılabilir. Böylece görüntü genelindeki tüm kırılma noktalarının belirlenmesinin yerine, ihtiyaç olunan noktalara ulaşılmış olunacaktır.

Detay noktası çıkarımı her iki görüntüde de ayrı ayrı yapıldıktan sonra, bu iki görüntüye ait noktaların eşleştirilmesi gerekmektedir ki belirlenen noktalar fotogrametrik değerlendirmede kullanılabilir. Aksi durumda, birbiriyle eşleşmemiş olan noktalar fotogrametrik değerlendirmeye dâhil edilip, anlamsız sonuçlar doğurur. Bu aşamada RANSAC (Random Sample Consensus/Rastgele Örnek Onaylaşımı (Fischler & Bolles, 1981)) algoritması kullanılmaktadır. RANSAC algoritması, iki görüntüden elde edilen detay noktalarını kıyaslayarak ilk görüntüden elde edilen hangi noktanın ikinci görüntüden elde edilen hangi noktaya denk geldiğini tespit edebilme kabiliyetindedir.

İdeal model doğru ve kaba hatalı olan noktanın konumları yukarıda görülebilmektedir. RANSAC algoritması noktaları doğru boyunca kümeleyerek eşleştirme aşamasını yaparken, dışarıda kalması gereken kaba hatalı verileri de elimine eder.



RANSAC algoritmasının eşleştirme için çalıştırıldığı durumlara örnek verilecek olursa, soldaki görsel iyi bir örnek olarak ele alınabilir. Burada, sağ ve sol resimlerdeki belirgin noktaların eşleştirildiği görülebilmektedir (Hollerbach, ve diğerleri, tarih yok).

Şekil 7: Eşleştirilen Noktalar

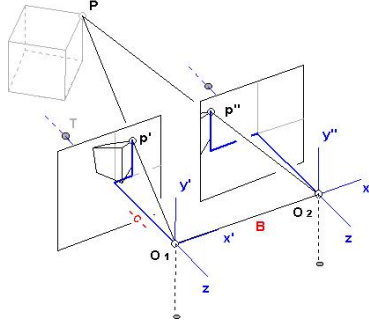
Bu sayede fotogrametrik değerlendirme yapılırken kullanılacak olan resim noktaları birbirinin eşleniği olmuş olacak ve fotogrametrik değerlendirme anlamlı olacaktır.

1.2 Fotogrametri – Dijital Fotogrametri:

Fotogrametri, cisimler ve oluşturdukları çevreden yayılan ışınların şekillendirdiği fotoğraflık görüntülerin ve yaydıkları elektro manyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonunda bu cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgilerin elde edildiği bir teknoloji ve bilim dalıdır. Fotogrametri ile cisimlere dokunmadan ölçme yapılabilir. Gözle görünmeyen ışınlardan da yararlanılabilir.

Aşağıdaki görselde, stereofotogrametrik değerlendirme şematik olarak özetlenmiştir. Burada p' ve p'' resim noktaları, P obje noktasının resimler üzerindeki ifadesi, O_1 ve O_2 noktaları kameraların konumları, B kameralar arası bazı, T optik eksen doğrultusunu ve c ise odak uzunluğunu ifade etmektedir.

Stereofotogrametrik Sürüş Destek Sistemi



Şekil 8: Stereofotogrametrik Değerlendirme Temel Prensi

Fotogrametrinin matematik modeli yukardaki şekilden aşağıdaki gibi elde edilebilmektedir;

$$x = x_p - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$
$$y = y_p - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

Şekil 9: Stereofotogrametrik Değerlendirme Denklemleri

Yukarıda resim koordinatlarından obje koordinatlarına geçişi sağlayan matematiksel eşitlikler verilmiştir. Bu eşitliklerdeki r_{ij} bileşenleri resim düzleminin dönüklüklerinin trigonometrik hesaplamalar sonucu denkleme dâhil edilmesini sağlamaktadır. Yukarıda gösterilen iki denklemden, $P(X, Y, Z)$ koordinatları (nesneye ait gerçek dünya koordinatları) bilinmeyenler iken, diğer değişkenler ise bilinenlerdir (resim çekme merkezinin konumu, dönüklükler, resim ana noktasının resim koordinatları).

Çalışmada, elde edilen üç boyutlu konumlar, anlık olarak analiz edilerek takip edilen nesnenin hızı hesaplanabilmektedir. Aynı zamanda, konum bilgisi sayesinde kameralarla takip edilen nesne arasındaki mesafe de hesaplanabilmekte, bu veri de sürüş destek sistemi için önemli bir girdiyi oluşturmaktadır.

Kaynaklar

Fischler, M. A., & Bolles, R. C. (1981). Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. *24*(6).

Kumar, M. (2003). Digital Image Processing. *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, (s. 81-102). Dehra Dun/India.

Lowe, D. G. (1999). Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. *Proc. of the International Conference on Computer Vision*.

Viola, P., & Jones, M. (2004). Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.

Hollerbach, John M.; Mascaró, Stephen A.; Sun, Y.; Flanders, M.; Soechting, John F., "Measuring Fingertip Force by Imaging the Fingernail"
<http://www.cs.utah.edu/~jmh/Fingernail/>