



NESNE MODELLEME: VIDEO İMGELERİ KULLANILARAK F-MATRİSİNİN HESAPLANMASI

*(OBJECT MODELLING: CALCULATION OF F-MATRIX
USING VIDEO IMAGES)*

Abdullah Erhan AKKAYA¹, Muhammed Fatih TALU¹

ÖZET/ABSTRACT

Epipolar geometri, bir nesneye veya sahneye ait farklı iki açıdan çekilmiş görüntü çiftleri arasındaki geometrik ilişkiyi tanımlamaktadır. Geometrik ilişkiyi ortaya çıkarabilmek için iki görüntüdeki benzer noktaların yakalanması, eşleştirilmesi ve epipolar geometriyi temsil eden temel matrisin (F-fundamental matrix) hesaplanması gerekmektedir. Temel matrisin hesaplanması, 3D modelleme, hareket segmentasyonu, stereo görme, kamera kalibrasyonu gibi sonraki aşamalar için hayati derecede önem arz etmektedir. Bu çalışmada, farklı konseptlerdeki etkin F-matrisi hesaplama yöntemleri altı görüntü çifti üzerinde incelenmiş, algoritmaların zaman ve doğruluk kriterlerine göre karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur.

Epipolar geometry, describes the geometric relationship between pairs of images that belongs to an object or a scene taken from two different angles. To reveal the geometric relationship, capturing of similar points in the two images, matching these points and calculating fundamental matrix (F-matrix) that represents the epipolar geometry are required. Calculation of the fundamental matrix has vital importance for the next stages like 3D modelling, motion segmentation, stereo vision, camera calibration. In this study, effective F-matrix calculation methods of different concepts were examined on six image pairs and comparisons were made according to the algorithms' time and accuracy criteria. The obtained numerical results are presented in tables.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Temel matris, Epipolar geometri, Hartley normalizasyonu, Sampson uzaklığı
Fundamental matrix, Epipolar geometry, Hartley normalization, Sampson distance

¹ İnönü Ün., Mühendislik Fak., Bilgisayar Müh. Böl., 44280, MALATYA, e-posta: abdullahakkaya@gmail.com, fatihaltu@gmail.com

1. GİRİŞ

Temel matris (F –fundamental matrix), bir videonun ardışıl iki imgesinde bulunan önemli noktalar arasındaki ilişkiyi tanımlar. Hareket segmentasyonu, 3D model oluşturma, kamera kalibrasyonu, stereo görme gibi birçok uygulama alanında F matrisi kullanılmaktadır. F matrisinin etkin ve doğru olarak hesaplanması, çoklu görüntü analizinde önemli bir problemdir (Hartley ve Zisserman, 2003). Analizi yapılacak görüntü sayısı iki olduğunda, bu iki görüntü arasında oluşan, sahne yapısından bağımsız, sadece kameranın içyapısı ile göreceli pozisyona bağlı olarak oluşan izdüşümsel geometriye “epipolar geometri” adı verilmektedir (Hartley ve Zisserman, 2003). F matrisi epipolar geometriyi temsil eden temel matristir. Aynı sahnenin birbirine yakın olan farklı açılardan çekilen imgelerinin içerisinde barındırdığı tüm geometrik bilgi F matrisi ile hesaplanmaktadır. Sahne üzerindeki X noktasının birinci ve ikinci görüntüdeki eş noktaları x ve x' ile temsil edilirse, F matrisi kullanılarak, bu iki eş nokta arasında bir denklem kurulabilir (1). F matrisi 3x3 boyutunda rankı 2 olan bir matristir (Luong ve Faugeras, 1996).

$$x'^T F x = 0 \quad (1)$$

İki imgedeki nokta eşleştirmelerinden yola çıkarak epipolar geometriyi hesaplamaya çalışan ilk metot Hesse tarafından 1863 yılında ortaya atılmış, aynı yöntem Sturm tarafından 1869 yılında tekrar düzenlenmiştir (Boufama ve Mohr, 1995). Sturm tarafından düzenlenen algoritma teoride iyi olarak çalışan fakat gerçek ortamda gürültüden çok fazla etkilenen ve 7 eş nokta ile epipolar dönüşümü hesaplayan bir yöntemdir (Boufama ve Mohr, 1995). 1981 yılında Longuet-Higgins’in (Longuet-Higgins, 1981) çalışmaları ile hız kazanan F matrisini hesaplama metotlarına zamanla rank-2 şartını sağlamayı hedefleyen, doğrusal, iteratif ve sağlam gruplara ayrılan metotlar eklenmiştir. (Armangué ve Salvi, 2003; Torr ve Murray, 1997; Zhang, 1998).

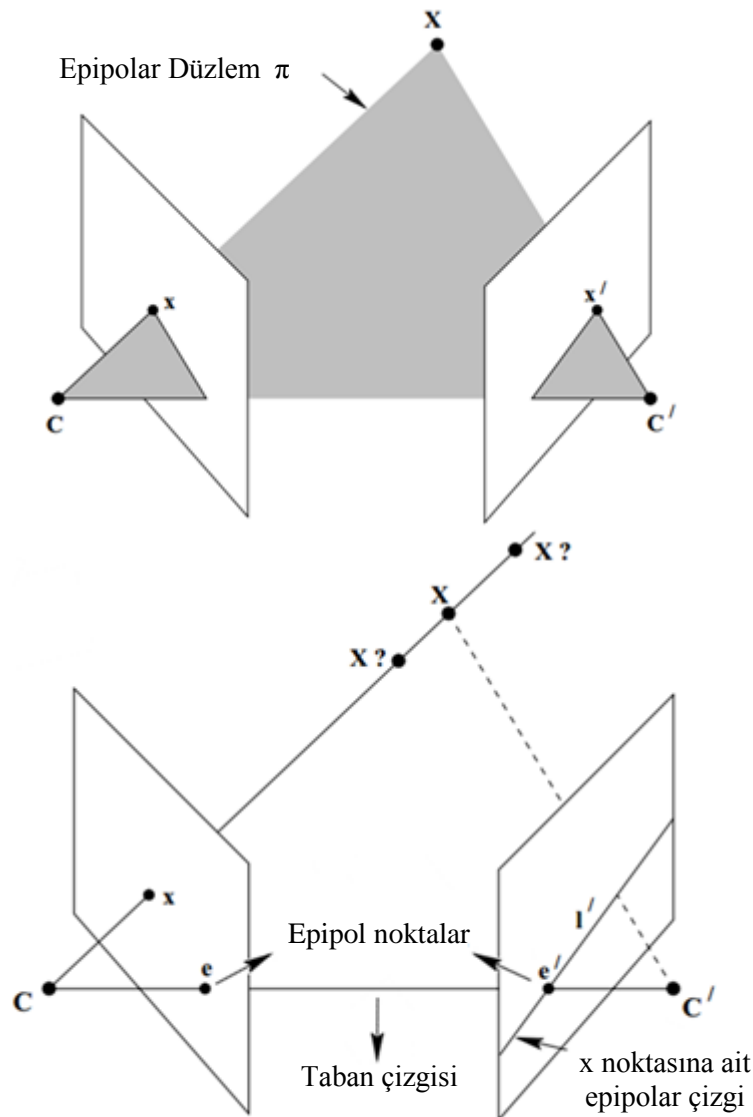
Doğrusal metotlar F matris hesaplama zamanını oldukça kısa sürede gerçekleştirmesine rağmen optimal olmayan çözümler üretmektedir. Bu nedenle aranan optimal çözümün hızlandırılması için iteratif ve sağlam metotlar ile işbirliği içinde kullanılmaktadırlar (Zheng vd., 2011). Doğrusal metotlardan bazıları, yedi nokta metodu en küçük kareler (KK) yöntemi ortogonal en küçük kareler yöntemi, rank-2 metotlarıdır (Zhang, 1998; Luong ve Faugeras, 1996; Torr ve Murray, 1997). İteratif metotlar, doğrusal metotların özyinelemesi sonucu oluşturulmuş metotlardır. Oldukça iyi sonuçlar vermekle beraber doğrusal metotlara göre daha fazla zaman almaktadırlar. İteratif metotlara, Newton Raphson veya Levenberg–Marquardt, gradyant tabanlı metot, Temel Nümerik Plan (TNP), Zorlanmış Temel Nümerik Plan (ZTNP) ve iteratif doğrusal metot örnek olarak verilebilir (Salvi, 1997; Hartley ve Zisserman, 2003; Chojnacki vd., 2004; Zhang, 1998). Sağlam metotlar, hatalı eşleşen noktaları elemeye çalıştıktan sonra epipolar merkeze olan uzaklığı minimize etmeye dayalı, doğrusal yöntemlerin tekrarından oluşan yöntemlerdir. Doğrusal yöntemlerden daha fazla zaman almakta fakat sağlam ve etkin sonuçlar vermektedirler. M-Kestirici, L-Meds, RANSAC, MLESAC ve MAPSAC sağlam metotlardandır (Hartley ve Zisserman, 2003; Zhang, 1998; Torr ve Murray, 1997; Torr ve Zisserman, 2000; Torr, 2002). Hem iteratif hem de sağlam metotlarda tekrarlı olarak kullanımından dolayı, doğrusal yöntemler F matris hesabında temel yöntemdir, diyebiliriz.

F matrisini hesaplamadan önce eş nokta koordinatları normalize edilmektedir. Hartley normalizasyon metodu başarıyı yüksek olan ve sık kullanılan bir metottur (Hartley, 1995). F temel matrisi hesaplandıktan sonra epipolar merkeze olan Sampson uzaklığı minimum olan yöntem, başarıyı en yüksek olan yöntem kabul edilmektedir (Sampson, 1982).

Bu çalışmada, altı görüntü çifti üzerinde, doğrusal yöntemlerden KK, iteratif yöntemlerden ZTNP ve sağlam yöntemlerden LMedS kullanılarak F matrisi hesaplanmış, normalize edilen ve edilmeyen sonuçlar karşılaştırılarak verilen yöntemler içerisinde hız ve doğruluk bakımından uygun olanı, tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. EPİPOLAR GEOMETRİ

Epipolar geometri, bir sahnenin veya objenin farklı açılardan çekilmiş iki görüntüsü arasındaki geometrik ilişkiyi kurmaktadır. Şekil 1'de C ve C' kamera merkezleridir. Sahneye ait X noktasının birinci ve ikinci görüntüye düşen imge noktaları sırasıyla $x = (x, y, 1)^T$ ve $x' = (x', y', 1)^T$ homojen vektörleri ile temsil edilmektedir. Bu iki eş nokta arasındaki ilişkiyi F matrisi kurmaktadır (Eşitlik 1).



Şekil 1. İki farklı imge üzerindeki nokta izdüşümleri ve epipolar geometri

Kamera merkezlerinden başlayarak x ve x' noktalarından geçecek şekilde ışınlar çizildiğinde bu ışınlar X noktasında kesişmektedir. X , x , x' , C ve C' noktalarını içerecek şekilde oluşturulan düzleme "epipolar düzlem" adı verilmektedir (Hartley ve Zisserman, 2003). İki

kamera merkezi “taban çizgisi” tarafından birleştirilmektedir. Kamera merkezlerini birleştiren taban çizgisi ile görüntü düzlemlerinin kesiştiği noktalar “epipol nokta” (e, e') adını almaktadır (Li vd., 2013). Epipol noktalar ve F matrisinin çarpımı sıfıra eşittir (Eşitlik 2) (Hartley ve Zisserman, 2003):

$$Fe = 0, F^T e' = 0 \quad (2)$$

Epipol noktalardan imge noktasından geçecek şekilde çizilen doğruya ise “epipolar çizgi” denilmektedir (Li vd., 2013). Epipolar düzlem ile görüntü düzleminin kesişimi sonucu da epipolar çizgiler oluşmaktadır. Eş noktalar eş epipolar çizgiler üzerinde yer almaktadırlar. Bu nedenle x noktasının eşdeğer noktası olan x' noktası, x noktası kullanılarak hesaplanan l' epipolar çizgisi üzerinde olmalıdır (Eşitlik 3) (Hartley ve Zisserman, 2003).

$$l' = Fx, l = F^T x' \quad (3)$$

l', x' noktasının aranacağı epipolar çizgidir. Bu nedenle x' noktası, ikinci görüntünün tamamı içerisinde değil, sadece l' epipolar çizgisi üzerinde aranacağından pencere boyutu düşürülmekte ve arama maliyeti azaltılmaktadır.

Üç boyutlu ortamdaki herhangi bir X noktasının görüntüsü alındığında bu noktaya ait derinlik bilgisi kaybolmakta ve üç boyutlu nokta koordinatı iki boyuta indirgenmektedir. X noktasına ait kaybolan derinlik bilgisinin yeniden elde edilmesi için gerekli adımlar aşağıdaki şekildedir (Hartley ve Zisserman, 2003):

- i. Nokta çiftlerinden F matrisinin hesaplanması.
- ii. F matrisi kullanılarak C ve C' kameralarına ait P ve P' matrislerinin hesaplanması.
- iii. $x \leftrightarrow x'$ noktaları kullanılarak üç boyutlu ortamdaki X noktasına ait Z derinlik bilgisinin yeniden elde edilmesi.

F matrisi hesaplandıktan sonra kamera matrisleri ($P - P'$) hesaplanabilir (Eşitlik 4).

$$P = [I|0], P' = [[e']_x F | e'] \quad (4)$$

Birinci kameranın konumu referans olarak alınarak ikinci kameranın konumu hesaplanmakta ve böylece ikinci kameranın birinci kameraya göre ne kadarlık bir kayma (translation) ve kaç derecelik bir dönme (rotation) hareketi yaptığı hesaplanmaktadır. Kamera matrisi de elde edilen konum bilgisi kullanılarak X noktasının üç boyutlu konumu yeniden hesaplanabilmektedir.

3. F MATRİSİ HESAPLAMA

Bu bölümde, farklı konseptlerde yer alan F matrisi hesaplama yöntemlerinden bahsedilen yöntemler içerisinde en iyi sonuç verenler seçilerek, bu yöntemlerin kıyaslamalı bir sunumu yapılmaktadır. Kendi grubu içerisinde en iyi sonucu veren yöntemler doğrusal KK, iteratif ZTNP ve sağlam LMedS yöntemleridir. Her üç yöntemde de ilk görüntü normalizasyonu yapılmalı, böylece farklı çözünürlükteki imgeler aynı piksel uzayına indirgenmelidir.

3.1. Normalizasyon Aşaması

Aynı nesneye ait farklı görüntülerin farklı çözünürlüklerde olması, verinin normalize edilmesini gerektirmektedir. Normalizasyon işlemi ölçekleme ve dönüşüm aşamalarından oluşmaktadır (Armangué ve Salvi, 2003). Birinci ve ikinci görüntü düzlemine düşen X noktasına ait imge noktaları sırasıyla $x = (x, y, 1)^T$ ve $x' = (x', y', 1)^T$ olsun. T ve T' dönüşüm matrisleri kullanılarak normalize edilmiş noktalar elde edilmektedir (Eşitlik 5 ve Eşitlik 6).

$$\hat{x}_i = Tx_i \quad (5)$$

$$\hat{x}'_i = T'x'_i \quad (6)$$

Daha sonra normalize edilmiş noktalar kullanılarak, farklı metotlarla \hat{F} matrisi hesaplandıktan sonra, F matrisinin gerçek değeri:

$$F = T^T \hat{F} T' \quad (7)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Normalizasyon sürecinde her bir imgenin normalizasyonu diğer imgelerden bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir.

Hartley Normalizasyon metodu çoğu uygulamada kullanılmaktadır. Bu metotta ilk olarak imgeye ait tüm eş noktaların merkezi olan Centroid (C_x, C_y) noktasının koordinatı hesaplanmaktadır (Hartley, 1995). Merkez nokta koordinatı hesaplandıktan sonra, her bir eş noktasının bu merkez noktaya olan dx_i , dy_i uzaklıkları ile de_i öklid uzaklıkları hesaplanmaktadır. Öklid uzaklıklarının ortalaması d_{mean} hesaplandıktan sonra, bu noktaların merkeze olan dx_i ve dy_i uzaklıkları ayrı ayrı $\sqrt{2}$ ile çarpılarak d_{mean} değerine bölünmekte ve normalize edilmiş hx_i ve hy_i değerleri elde edilmektedir. n , toplam eş nokta sayısını temsil edecek şekilde, Hartley normalizasyon adımları aşağıdaki şekilde formüle edilmektedir:

- i. $C_x = (\sum_{i=1}^n x_i)/n$, $C_y = (\sum_{i=1}^n y_i)/n$
- ii. $dx_i = x_i - C_x$, $dy_i = y_i - C_y$
- iii. $de_i = \sqrt{(dx_i)^2 + (dy_i)^2}$
- iv. $d_{mean} = (\sum_{i=1}^n de_i)/n$
- v. $hx_i = dx_i \sqrt{2}/d_{mean}$, $hy_i = dy_i \sqrt{2}/d_{mean}$

Tüm bu adımlar gerçekleştirildikten sonra normalize edilmiş noktaların orijine olan öklid uzaklıkları ortalaması $\sqrt{2}$ olmaktadır.

3.2. Epipolar Düzleminin Belirlenme Aşaması

Normalize edilmiş nokta koordinatları hesaplandıktan sonra Eşitlik 1 kullanılarak 9 bilinmeyenli F matrisine ait Epipolar denklemi:

$$u_i^T f = 0 \quad (8)$$

$$u_i = [x_i x'_i, y_i x'_i, x'_i, x_i y'_i, y_i y'_i, y'_i, x_i, y_i, 1]^T \quad (9)$$

$$f = [F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{21}, F_{22}, F_{23}, F_{31}, F_{32}, F_{33}]^T \quad (10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eğer eşleşen n nokta varsa Eşitlik 8, Eşitlik 12'ye dönüşmektedir:

$$U = \begin{bmatrix} x_1x'_1, y_1x'_1, x'_1, x_1y'_1, y_1y'_1, y'_1, x_1, y_1, 1 \\ \vdots \\ x_nx'_n, y_nx'_n, x'_n, x_ny'_n, y_ny'_n, y'_n, x_n, y_n, 1 \end{bmatrix}^T \quad (11)$$

$$Uf = 0 \quad (12)$$

Bu denklemler kullanılarak epipolar geometriyi temsil eden F matrisi hesaplanabilir.

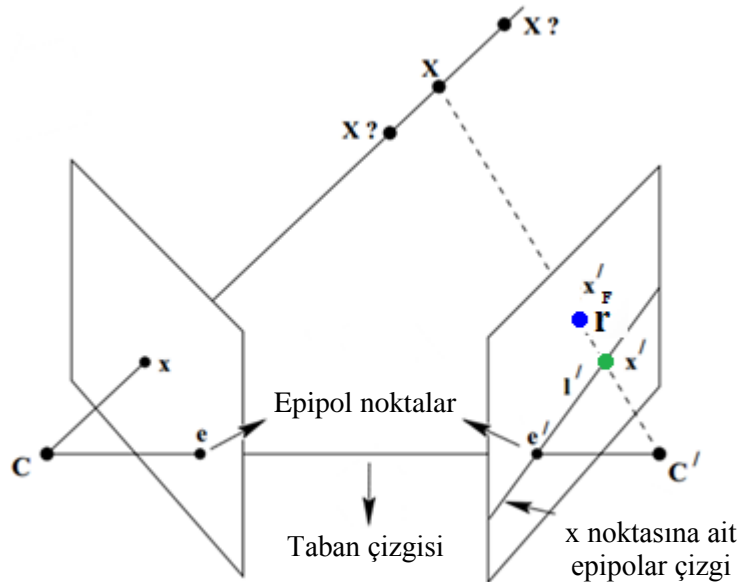
3.3. Doğrusal KK Yöntemi

F matrisini hesaplamak için geliştirilen doğrusal metotlardan ortogonal en küçük kareler yöntemi, en az sekiz eş nokta üzerinden işlem yapmaktadır. Eşitlik 11 U matrisi hesaplandıktan sonra $U^T U$ çarpımına ait en küçük öz değerli vektör hesabını göstermektedir. Hesaplanan en küçük öz değerli vektör F matrisini vermektedir.

$$[V, D] = eig(U^T U) \quad (13)$$

3.4. İteratif ZTNP Yöntemi

İteratif yöntemler, nokta ile epipolar çizgi arasındaki mesafeyi minimum değere çekmeye çalışan ve gradient tabanlı olmak üzere temel olarak iki gruba ayrılmışlardır. Bu gruplardan birincisinde Şekil 2'de de görüldüğü üzere sağdaki imge düzleminde gerçek nokta koordinatı olan yeşil renkli x' noktası ve hesaplanan F matris tarafından bulunan mavi x_F noktası arasındaki r mesafesi minimize edilmeye çalışılmaktadır.



Şekil 2. Minimize edilmesi gereken r değeri

Birinci sınıflandırmada aşağıda verilen Eşitlik 14 çözülerek minimizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir (Armangué ve Salvi, 2003).

$$\min_F \sum_i (d^2(x_i, Fx'_i) + d^2(x'_i, Fx_i)) \quad (14)$$

Yukarıdaki denkleme Newton-Raphson veya Levenberg-Marquardt uygulanarak iteratif bir yöntem denenmiştir. Bir başka yöntemde ise Luong ve Faugas tarafından Eşitlik-14 yeniden düzenlenmiştir (Eşitlik 15).

$$\min_F \sum_i w_i^2 (x_i^T Fx'_i)^2 \quad (15)$$

Bu denklemde w ve Fx'_i değerleri aşağıdaki gibidir (Eşitlik 16):

$$w_i = \left(\frac{1}{l_1^2 + l_2^2} + \frac{1}{l_1'^2 + l_2'^2} \right)^{1/2}, Fx'_i = (l_1, l_2, l_3)^T \quad (16)$$

İkinci grup ise gradyen tabanlı metotlardır. Bu durumda çözülmesi gereken denklem ve gradyen değeri en küçük kareler yöntemi ve eigen analiz ile çözülebilecek şekildedir (Eşitlik 17).

$$\min_F \sum_i (x_i^T Fx'_i)^2 / g_i^2, g_i = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 + l_1'^2 + l_2'^2} \quad (17)$$

Chojnacki, Newton–Raphson minimizasyon yöntemini kullanan TNP ve ZTNP metotlarını bulmuştur (Chojnacki vd., 2002). Her iki metotta da aşağıdaki Eşitlik 18 denklem minimize edilmeye çalışılmaktadır.

$$J_{AML} = \sum_i \frac{(x_i^T Fx'_i)^2}{x_i^T F F^T x_i + x_i'^T F F^T x_i'} \quad (18)$$

Yukarıdaki formülde $\partial_f J_{AML}(f)$, J_{AML} 'nin kısmi türevinin satır vektörüdür. Böylece $\partial_f J_{AML}(f) = 2X_f f$ değerine eşittir. Eşitliğin değerleri yeniden düzenlenirse (Eşitlik 19):

$$X_f = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{f^T B_i f} - \sum_{i=1}^n \frac{f^T A_i f}{(f^T B_i f)^2} B_i, A_i = u_i u_i^T, B_i = \partial_x u_i \Lambda_x \partial_x u_i^T \quad (19)$$

Burada ∂_x eş noktaların kısmi türevi ve Λ_x nokta belirsizliği ile ilişkili simetrik kovaryans matrisidir (Chojnacki vd., 2000) i. TNP yönteminin iyileştirilmiş hali olan ZTNP metodu minimizasyon fonksiyonundan elde edilen yardımcı kısıtın TNP metoduna eklenmesi ile oluşturulmaktadır (Armangué ve Salvi, 2003). Bu durumda daha karmaşık bir matris kullanılmıştır (Eşitlik 20):

$$Z_f = P_f X_f P_f, P_f = I - \|a_f\|^{-2} a_f a_f^T, a_f = \partial_f \phi(f)^T \quad (20)$$

3.5. Sağlam LMedS Yöntemi

Sağlam yöntemler, ilk olarak hatalı eşleşen nokta çiftlerini elemektedirler (Armangué ve Salvi, 2003). Böyle bir eleme mekanizması olmadan sadece doğrusal ve iteratif yöntemler kullanıldığında hatalı nokta çiftleri F matrisinin yanlış olarak hesaplanmasına neden olmaktadır.

Sağlam LMedS metodunda epipolar çizgiye olan uzaklıkların kareleri hesaplanarak bu uzaklık değerlerinin medyan değerlerinin en küçüğü aranmaktadır (Eşitlik 21).

$$\min_i \text{median } r_i^2 \quad (21)$$

n adet nokta çifti ($x_i \leftrightarrow x'_i$) için LMedS yöntemi adımları aşağıdaki gibidir (Zhang, 1998):

1. Monte Carlo tipi bir teknikle nokta çifti sayısı $p = 7$ olacak şekilde, mevcut nokta eşleştirmeleri kullanılarak m adet rastgele nokta alt uzayı oluşturulur.
2. J ile indekslenen her bir alt uzay için aşağıdaki denkleme göre F matrisi çözülür, ki bu çözüm 7 nokta çözümüdür (Eşitlik 22). F matrisi F_1 ve F_2 matrislerinden oluşmuştur:

$$\det[\alpha F_1 + (1 - \alpha)F_2] = 0 \quad (22)$$

3. Her bir F_j için, uzaklığın karelerinin medyan değerini M_j ile gösterirsek

$$M_j = \text{median}[d^2(x'_i, F_j x_i) + d^2(x_i, F_j^T x'_i)], \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

4. Tüm M_j değerleri içerisindeki en küçük değere sahip olanın F_j matrisini tüm nokta uzayına ait temel matris olarak belirle.

3.6. Kıyaslama Ölçeği

Yöntemlerden hangisinin daha etkin olarak çalıştığının saptanabilmesi için epipolar çizgiye olan ortalama uzaklık hatasının hesaplanması gerekmektedir. En düşük ortalama uzaklığa sahip olan yöntem en iyi sonucu vermektedir. Sampson uzaklığı sık kullanılan hata hesaplama yöntemlerindedir (Sampson, 1982). Her bir nokta çiftinin epipolar çizgiye olan uzaklığı

$$r = x'^T F x \quad (24)$$

olacaktır. r değerinin giderek sıfıra yaklaşması matrisin daha doğru hesaplandığının göstergesidir. Fakat r değerinin tek başına geometrik bir anlamı yoktur. F temel matrisi Eşitlik 25 ile ifade edilirse

$$F = \begin{pmatrix} f_1 & f_2 & f_3 \\ f_4 & f_5 & f_6 \\ f_7 & f_8 & f_9 \end{pmatrix} \quad (25)$$

$$r_x = f_1 x' + f_4 y' + f_7, \quad r_y = f_2 x' + f_5 y' + f_8 \quad (26)$$

$$r_{x'} = f_1 x + f_2 y + f_3, \quad r_{y'} = f_4 x + f_5 y + f_6 \quad (27)$$

olmak üzere her bir eş nokta çifti için Sampson uzaklığı

$$d_s = r \frac{1}{\sqrt{r}} = r \left(\frac{1}{r_x^2 + r_y^2 + r_{x'}^2 + r_{y'}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Tüm eş noktaların Sampson uzaklıklarının aritmetik ortalaması alınarak bir görüntü çifti için her bir metodun etkinliği hesaplanmaktadır.

4. SONUÇLAR

Simülasyon sonuçları, Matlab programı i7-4770 3.4GHz işlemci ve 8 GB belleğe sahip bilgisayar kullanılarak elde edilmiştir. Görüntü çiftleri üzerinde 100 adet eş nokta saptanmaya çalışılmıştır. Eş noktalar Lowe tarafından bulunan SIFT algoritmasının A.Vedaldi tarafından geliştirilen Matlab programı kullanılarak bulunmuştur (Lowe, 2004; Vedaldi, 2006). Bulunan eş noktalar Hartley metodu ile normalize edilmiştir (Hartley, 1995). Elde edilen eş noktalara KK, LMedS ve ZTNP algoritmaları uygulanarak F matrisi hesaplanmıştır.

Çizelge 1 Hartley ile normalize edilmiş, Çizelge 2 ise normalize edilmemiş eş noktalara uygulanan metotlar sonucunda elde edilen noktalarla epipolar çizgiler arasındaki Sampson uzaklıklarının ortalamasını göstermektedir. Kullanılan 6 imge çifti için en iyi değer LMedS yöntemine ait olduğu görülmektedir.

Çizelge 3 uygulanan metotların Hartley normalizasyonu ve Sampson uzaklığı kullanılarak F matrisini hesaplamak için ne kadar zaman harcadığını göstermektedir. Eğer uygulama offline olarak yapılacaksa ve zaman kısıtı yoksa LMedS metodu kullanılmalıdır. Uygulama online ise kullanılacak eş nokta sayısının artması durumunda harcanan zaman da artacağından LMedS metodu kullanımından kaçınılmalıdır.

Şekil 3, SIFT algoritması tarafından eşleştirilen 100 noktaya ait hareket vektörlerini göstermektedir. Farklı yönlerde ve büyüklükte olan noktalar hatalı nokta eşleştirmesi yapıldığını göstermektedir. Şekil 4 ise, LMedS yönteminin, hatalı eş nokta eşleştirmelerini eleyerek, doğru olarak eşleşen nokta çiftleri üzerinden işlem yapıldığını göstermektedir. Bundan dolayı, yanlış eşleştirmeden kaynaklanabilecek hesaplama hatalarının önüne geçilerek en iyi sonuca ulaşılmaktadır. Hartley normalizasyonu yapılmış verilerin Sampson uzaklık değerlerinin daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca normalizasyon yapılan ve yapılmayan imgeler üzerinde ZTNP metodunun aynı sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada ardışıl video imgeleri arasındaki hareketin anlamlandırılmasında önemli aşamalarından biri olan F matrisinin hesaplanması incelenmiştir. Birçok farklı konseptte sahip yöntemlerin avantaj ve dezavantajları sunulmuştur. Buna göre 6 farklı görüntü çifti üzerinde F matrisinin hesabı gerçekleştirilmiş ve bunun için 3 farklı yöntem kullanılmıştır. Sonuç olarak, F matrisinin hesabı için KK yönteminin kullanılması düşük maliyet sağlamak fakat yüksek hataya sebep olmaktadır. Bunun aksine, LMedS yöntemi yavaş fakat yüksek doğruluğa sahiptir. Offline uygulamalar için LMedS yönteminin tercihi ideal bir çözüm sunmaktadır.

5. GELECEK ÇALIŞMALAR

Gerçek 3D yapıların veya nesnelerin bilgisayar ortamında yeniden modellenmesine Hareketin Yapısı adı verilmektedir. Temel matris elde edildikten sonra kamera matrislerinin hesaplanmasına geçilerek kameraların konum tespiti yapılacaktır. Kamera konum tespiti eş nokta uzayına ait üçüncü boyut olan derinlik bilgisinin geri kazanımı için önem arz etmektedir ve temel matris ile doğrudan ilişki halindedir. Daha sonra ise iki anahtar imgeye adım adım yeni bir imge eklenerek imge kümesi oluşturulması sonucu oluşan üçlü ve dörtlü yapılar kullanılarak 3D nesneye ait izdüşümsel inşa aşamasına geçilmesi planlanmaktadır. İzdüşüm aşaması ve nokta uzayı tespit edilen imgenin mesh üçgen ile örülmesinden sonra renklendirme işlemi yapılarak 3D nesneye ait modelleme işlemi tamamlanmış olacaktır.

Çizelge 1. Sampson uzaklıkları (Hartley normalizasyonu)

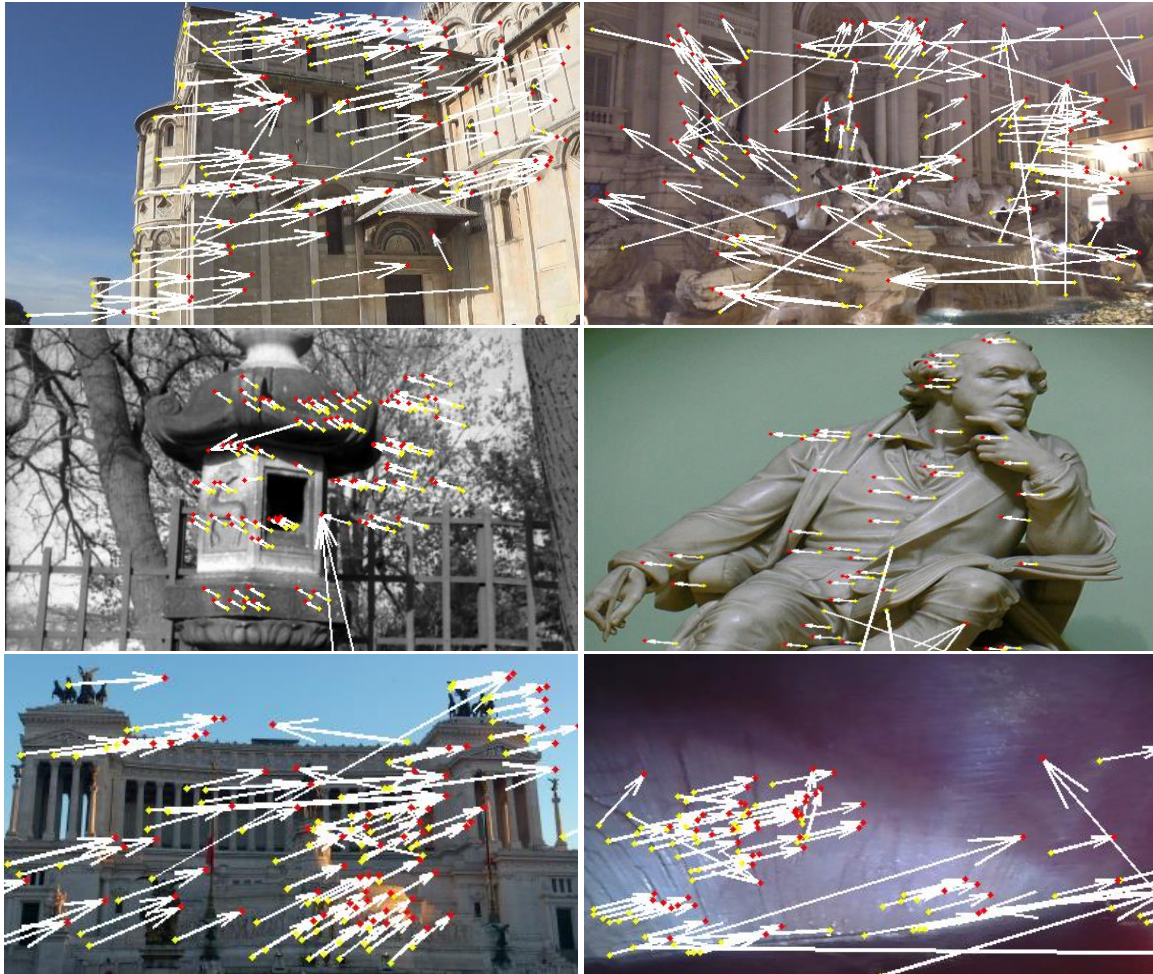
Yöntem	İmge 1	İmge 2	İmge 3	İmge 4	İmge 5	İmge 6
KK	6.257853	23.140691	2.267595	4.056772	3.527261	7.720820
LMedS	0.248110	0.446424	0.151231	0.235827	0.569709	0.363649
ZTNP	4.736782	28.405349	1.425712	3.608114	2.782481	17.581394

Çizelge 2. Sampson uzaklıkları (Normalizasyon yok)

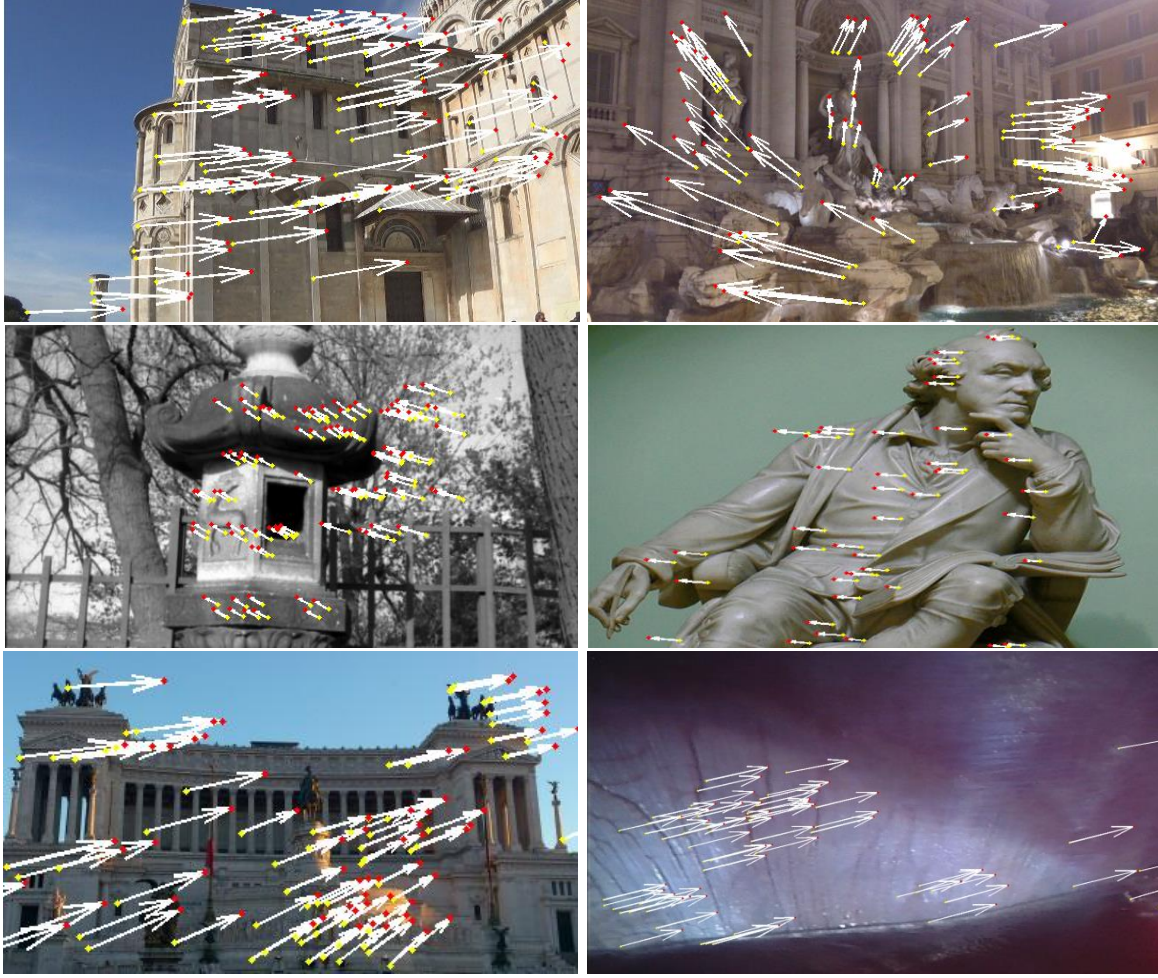
Yöntem	İmge 1	İmge 2	İmge 3	İmge 4	İmge 5	İmge 6
KK	23.787348	44.382813	8.023689	7.384078	6.059624	20.633057
LMedS	0.321937	0.468686	0.275656	0.290252	0.190641	0.231836
ZTNP	4.736782	28.405349	1.425712	3.608114	2.782481	17.581394

Çizelge 3. Harcanan süre (sn)

Yöntem	İmge 1	İmge 2	İmge 3	İmge 4	İmge 5	İmge 6
KK	0.008103	0.008432	0.008433	0.012126	0.008252	0.008248
LMedS	0.164673	0.183504	0.162516	0.150408	0.174300	0.165895
ZTNP	0.091506	0.090935	0.103341	0.090556	0.084295	0.091899



Şekil 3. F matrisinin hesaplanacağı eş noktaları bulunmuş görüntüler. Soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru: Pisa Katedrali (imge 1); Trevi Çeşmesi (imge 2); Kasuga feneri (imge 3); Heykel (imge 4); Emanuele Anıtı (imge 5); Mide laparoskopisi (imge 6).



Şekil 4. LMedS yöntemi ile hatalı nokta eşleştirmeleri elenmiş eş noktalar

KAYNAKLAR

- Armangué X., Salvi J. (2003): "Overall View Regarding Fundamental Matrix Estimation", Image and Vision Computing, Cilt 21, No. 2, s.205–220.
- Boufama B., Mohr R. (1995): "Epipole And Fundamental Matrix Estimation Using Virtual Parallax", Proceedings of IEEE Fifth International Conference on Computer Vision, s.1030–1036.
- Chojnacki W., Brooks M. J., Hengel A. V. D., Gawley D. (2002): "A New Approach to Constrained Parameter Estimation Applicable to Some Computer Vision Problems", Statistical Methods in Video Processing Workshop Held In Conjunction With ECCV, Cilt 2, s.1-2.
- Chojnacki W., Brooks M. J., Hengel A. V. D., Gawley D. (2004): "A New Constrained Parameter Estimator For Computer Vision Applications", Image and Vision Computing, Cilt 22, No. 2, s.85–91.
- Chojnacki W., Brooks M. J., Hengel, A. V. D., Gawley D. (2000): "On The Fitting Of Surfaces To Data With Covariances", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Cilt 22, No. 11, s.1294–1303.
- Hartley, R. I. (1995): "In Defence Of The 8-Point Algorithm", Fifth International Conference on Computer Vision, s.1064–1070.

-
- Hartley R., Zisserman A. (2003): "Multiple View Geometry In Computer Vision", Cambridge University Press.
- Li Y., Velipasalar S., Gürsoy M. C. (2013): "An Improved Evolutionary Algorithm For Fundamental Matrix Estimation", 10th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), s. 226–231
- Longuet-Higgins H. C. (1981): "A Computer Algorithm For Reconstructing A Scene From Two Projections", Nature, Cilt. 293, No. 5828, s.133–135.
- Lowe D. G. (2004): "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints", International Journal of Computer Vision, Cilt 60, No. 2, s.91–110.
- Luong Q. T., Faugeras O. D. (1996): "The Fundamental Matrix: Theory, Algorithms, And Stability Analysis", International Journal of Computer Vision, Cilt 17, No. 1, s.43–75.
- Salvi J (1997): "An Approach To Coded Structured Light To Obtain Three Dimensional Information", Universitat de Girona, Departament d'Electrònica, Informàtica i Automàtica, PhD Thesis.
- Sampson P. D. (1982): "Fitting Conic Sections To "Very Scattered" Data: An Iterative Refinement Of The Bookstein Algorithm", Computer Graphics and Image Processing, Cilt 18, No. 1, s.97–108.
- Torr P. H. S. (2002): "Bayesian Model Estimation and Selection for Epipolar Geometry and Generic Manifold Fitting", International Journal of Computer Vision, Cilt 50, No. 1, s.35–61.
- Torr P. H. S., Murray D. W. (1997): "The Development And Comparison Of Robust Methods For Estimating The Fundamental Matrix", International Journal of Computer Vision, Cilt 24, s.271–300.
- Torr P. H. S., Zisserman A. (2000): "MLESAC: A New Robust Estimator with Application to Estimating Image Geometry", Computer Vision and Image Understanding, Cilt 78, No. 1, s.138–156.
- Vedaldi A. (2006): "SIFT for MATLAB", University of California. <http://www.robots.ox.ac.uk/~vedaldi/code/sift.html>, Erişim Tarihi: 15.03.2014
- Zhang Z. (1998): "Determining the Epipolar Geometry and its Uncertainty: A Review", International Journal of Computer Vision, Cilt 27, No.2, s.161–195.
- Zheng Y., Sugimoto S., Okutomi M. (2011): "A Branch And Contract Algorithm For Globally Optimal Fundamental Matrix Estimation", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)", s.2953–2960.