

Çok Algılayıcılı Panoramik Kameralarda Kullanılan Balıkgözü Mercek Distorsiyonu İçin Bir Hesap Modeli

(A Calculation Model for Fisheye Lens Distortion Used in the Camera Cluster)

Cumhur ŞAHİN

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü,
Gebze, Kocaeli
csahin@gyte.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada panoramik görüntü elde etme tekniklerinden olan çok algılayıcıli sistemlerde kullanılan balıkgözü mercek distorsiyon modeli incelenmiştir. Uygulamada çok algılayıcıli panoramik görüntü elde etme sistemi olan Ladybug2 sayısal kamerası kullanılmıştır. Ladybug2 kamera sisteminde kullanılan algılayıcıların her biri balıkgözü mercektir. Kullanılan eşlenik balıkgözü merceklerin distorsiyon parametrelerini belirlemek için A_0 boyutlarında 145 hedef noktalı bir test alanı ile her bir algılayıcının bu test alanını içeren ham ve yazılım tarafından üretilen rektifiye görüntüleri kullanılmıştır. Test alanında elde edilen görüntülerden eşlenik merceklerle ait 7 adet distorsiyon parametresi dengelemeli olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: çok algılayıcıli sistem, balıkgözü mercek, distorsiyon

ABSTRACT

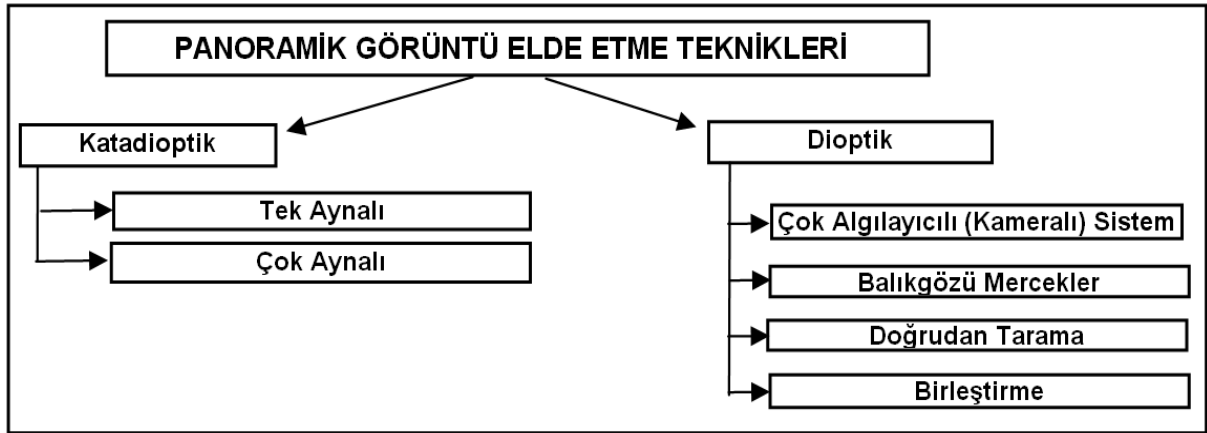
A way of panoramic image acquiring technique is camera cluster system. Here fisheye lens distortion model which is used in camera cluster is examined. A calculation to calculate the used distortion parameters is presented. In this study; camera cluster imaging acquiring system Ladybug2 is used. Lens used in Ladybug2 camera system are fisheye lens. To evaluate the distortion parameters of fisheye identical

lens, an A_0 dimensional image area which has 145 target test points is used and each sensors' raw images and the rectified images created by the software for this test area are used. Seven distortion parameters which are acquired from test area for fisheye lens are adjusted.

Key Words: camera cluster, fisheye lens, distortion,

1. GİRİŞ

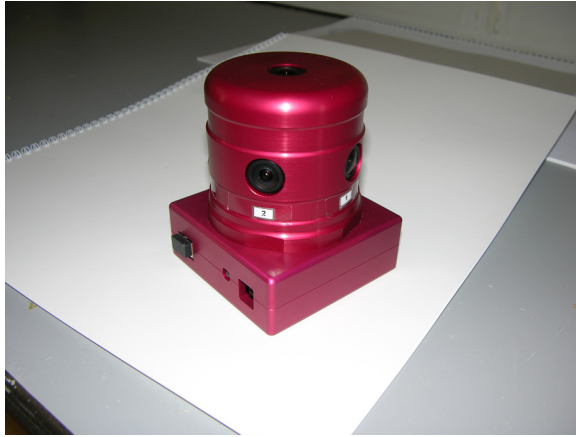
Günümüzde optik sistemler, görüntüleme açısı ve ışık tepkisi ile insan gözünü taklit etmek üzere tasarlanmaktadır. Bu ilerlemenin ışığında, fotogrametri daha geniş görüntüleme imkânı olan küresel/panoramik fotogrametri tekniklerine yönelmektedir. Ölçme ve görüntüleme sistemlerinin gelişmesi; panoramik fotogrametri tekniklerini, yakın gelecekte, merkezi izdüşüm kameralarına göre çok daha az resme ihtiyaç duyulması nedeniyle, en çok kullanılacak fotogrametri algoritmaları haline getirecektir. Panoramik görüntü elde etmek için kullanılan dioptik sistemlerden birisi Şekil 1'de görüldüğü gibi çok algılayıcıli (kameralı) sistemdir (Ergun vd., 2009).



Şekil 1. Panoramik görüntülerin üretimi için geliştirilen teknikler

Çok algılayıcı panoramik görüntüleme sistemi; bir merkeze açısal olarak yayılmış ve sabitlenmiş eşlenik ve bağımsız kameraların birleşimidir.

Çok algılayıcı görüntü elde etme sistemleri son yıllarda özellikle dikkat çeken ve farklı birçok uygulamada kullanılan görüntüleme sistemleridir. Çok algılayıcı panoramik görüntü elde etme donanımlarından birisi Şekil 2'de gösterilen Point Grey firmasının ürettiği Ladybug2 kamera sistemidir. Ladybug2 kamera sistemi tüm kürenin yüzde 75 inden fazlasının videosunu 1024X768 çözünürlükte, saniyede 30 resim ile toplayabilen bir video kamera sistemidir. Dakikada yaklaşık 1 GB. veri üretebilmektedir.



Şekil 2. Ladybug2 kamera sistemi

Ladybug2 kamera sistemini kullanarak, çok algılayıcı kamera sistemleri için bir geometrik kamera kalibrasyonu ve bir panoramik film üretme modeli Ikeda vd., (2003) de tanımlanmıştır.

Ladybug2 çok algılayıcı kamera sisteminde kullanılan altı özdeş merceğin her biri balıkgözü mercek olduğu için; görüntü büyük ölçüde bozulmaktadır. İlave geometrik hesaplamalar uygulanması bu distorsiyonu hesaplayabilmek için gereklidir. En yaygın yaklaşım distorsiyon transformasyonunun polinomal yaklaşımı temeline dayanan yaklaşımdır (Kock, 2007). Kock (2007) de Antonie (2005) tarafından önerilen bir tek parametrelili küresel distorsiyon modeli kullanılmıştır. Çoğu rektifikasyon modelinin tersine bu model distorsiyonlu ve distorsiyonsuz resimler için bir çözüm yöntemi sunmaktadır. Balıkgözü mercek geometrik modeli ile yersel lazer tarama geometrik modelinin demet dengelemesi içinde entegrasyonu Schneider vd., (2008) de anlatılmaktadır. Yersel tarama ve balıkgözü mercek geometrik modelinin

her ikisi de ideal modelden sapmaları düzeltebilmek ve doğruluk potansiyelini optimize edebilmek için ek parametreler ile genişletilmiştir. Birleştirilmiş demet dengelemesi analiz edilmiş ve sunulan yaklaşımın avantajları detaylı şekilde tartışılmıştır.

Bu çalışmada; 8410870 seri numaralı Ladybug2 çok algılayıcı kamera sistemine ait 6 algılayıcının her biri ile 145 noktalı test alanının ham (distorsiyonlu) görüntüleri alınıp, bunlara ait rektifiye (düzeltilmiş) görüntüler Ladybug2cap.exe yazılımı ile elde edilmiştir. Her bir algılayıcıya ait ham ve rektifiye görüntülerdeki 145 tane resim koordinatları ile Schneider vd., (2009) da tanımlanmış olan model kullanılarak 6 algılayıcı için distorsiyon parametreleri Matlab 7.0 yazılımında geliştirilen kod ile hesaplanmıştır.

2. ÇOK ALGILAYICILI SİSTEMLERİN DONANIM YAPISI

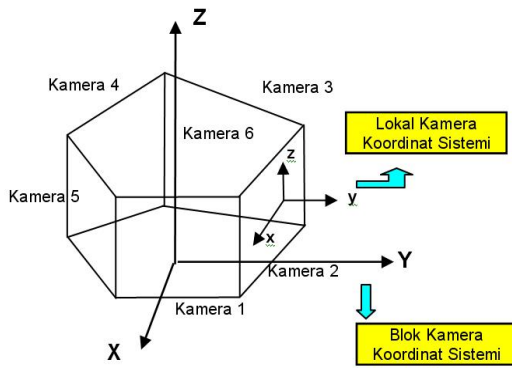
Ladybug2 çok algılayıcı kamera sisteminde görüntü elde etme donanımı iki ana kısma ayrılır: Altı adet algılayıcıyı ve kontrol ünitesini içeren bir ana ünite ve fiber optik vasıtasıyla ana üniteye bağlanan bir depolama ünitesi. Ana ünite renkli, 1024X768 çözünürlüklü, piksel büyüklüğü 4,65 µm olan altı tane Sony ICX204AQ 1/3" CCD algılayıcının birleştirilmesinden oluşur. Algılayıcılardan 5 tanesi aynı yatay düzlem üzerindedir, diğer algılayıcı ise bu düzleme dik konumdadır. Her bir algılayıcının odak uzaklığı sabit ve yaklaşık 2.5 mm. dir. Algılayıcılar bir katı ana ünite üzerine oturtulmuşlardır. Ladybug2 bu altı algılayıcıdan gelen görüntüleri otomatik olarak birleştiren yazılımı ile panoramik görüntüleme imkanı veren, dönme mekanizmasına ihtiyaç duymayan kamera sistemidir (<http://www.ptgrey.com/products/spherical.asp> 10.03.2010). Bitişik kameralar arasında küçük bir üst üste binme alanı olduğu için, mercekler elde edilmiş verinin birleştirilmesine olanak verecek şekilde seçilmiştir (Uyttendaele vd., 2003).

Büyük ölçekli CBS, coğrafi haritacılık ve diğer konum bazlı görselleştirmeler, şehir planlama uygulamaları, simülasyon ve ölçme analizleri, kubbe projeksiyon çalışmaları Ladybug2 için uygulama alanları olarak sayılabilir.

Çok algılayıcı panoramik kamera sistemlerinin en önemli avantajı yüksek çözünürlükleri ve bu çözünürlüğün görüş alanının her doğrultusu için aynı olmasıdır (Sato vd., 2004).

Çok algılayıcılı panoramik görüntüleme sistemlerinin dezavantajı, algılayıcılar (kameralar) için bir tek izdüşüm merkezi elde etmenin zorluğudur (Uyttendaele vd., 2003). Çok algılayıcılı panoramik görüntüleme sisteminde, algılayıcı parametrelerinin belirlenmesi çeşitli matematiksel modellerle çözülmektedir. Eğer çok algılayıcılı panoramik görüntüleme sistemindeki algılayıcıların mutlak konumu ve dönüklükleri (dış yöneltme parametreleri) yeterli doğrulukta hesaplanırsa uygulama alanları daha da genişletilebilir.

Sato vd. (2004) de Ladybug2 nin dış yöneltme parametrelerinin mutlak tespiti için pratik ve kesin bir yöntem önerilmiştir. Şekil 3'te gösterildiği gibi tüm sistem için tek bir blok koordinat sistemi ve konumları birbirlerine göre bulunabilen her algılayıcı (kamera) için bir lokal koordinat sistemi tanımlanmıştır. Bu sistemlerin hepsi üç boyutludur.



Şekil 3. Blok – Lokal Kamera koordinat sistemleri

Her bir algılayıcı kendi koordinat sistemine sahiptir. Algılayıcılar arasındaki dönüşüm hassas şekilde bilindiği için tüm algılayıcıların üzerinde ortak bir sanal koordinat sistemi tasarlamak mümkün olmaktadır. Blok kamera koordinat sisteminin başlangıcı 1. lokal kamera koordinat sisteminin başlangıcıdır. Kamera koordinat sistemi Z eksenini düşey doğrultudadır. X eksenine ise 1. kameranın X eksenine doğrudur ve Y eksenini sağ el koordinat sistemi tanımlar.

Cisim koordinat sisteminden blok koordinat sistemine koordinatlar (1) eşitliğindeki gibi 4x4'lük M matrisi ile transforme edilir. Bu matris yapısı R_k ve T_k matrislerinden oluşmaktadır.

$$M = \begin{bmatrix} R_k & T_k \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

R_k matrisi tüm sistemi tanımlayan dönüklük parametrelerini, T_k matrisi de yine tüm sistemi tanımlayan öteleme parametrelerini içermektedir.

3. BALIKGÖZÜ MERCEK TANIMI VE YAPISI

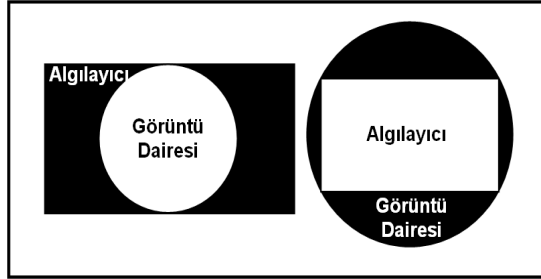
Ladybug2 çok algılayıcılı kamera sisteminde kullanılan altı adet algılayıcı özdeş olup, algılayıcıların her biri balıkgözü mercektir. Balıkgözü mercekler aşırı geniş açılı, merkezi iz düşüm projeksiyonuna uymayan optik sistemlerdir (Hellmeir, 1984). Balıkgözü mercek kamera sistemi kullanımı görüntü sayısının önemli şekilde azalmasını sağlar. Balıkgözü mercekler geniş görüş alanı yüzünden, halka açık binaların ya da toplu ulaşım araçlarının gözetlenmesi, iç mekanların ya da caddelerin genel görüntülerinin elde edilmesi gibi çok sayıda fotogrametrik olmayan uygulamada uzun yıllar kullanılmışlardır. Son yıllarda yürütülen bilimsel çalışmalarda da balıkgözü merceklerin kullanımı artmaktadır.

Balıkgözü mercekler aşırı küçük odak uzaklıklı ve 180 dereceye yakın ya da daha fazla görüş alanına sahip merceklerdir. Böylece tek bir balıkgözü mercek görüntüsü manzaranın büyük bir parçasını temsil eder. Bu geometri, merkezi perspektif iz düşüm ile tanımlanamadığı için, balıkgözü görüntülerin fotogrametrik uygulamalarında ayrı bir geometrik model tanımlanması zorunludur. Gerçek panoramik kameralar ile karşılaştırıldığında, balıkgözü mercekler düşük fiyata sahiptirler ve geleneksel kameralarla birleştirilebilirler (Schneider vd., 2009).

Geniş görüş açısı ile görüntü alabilen balıkgözü merceklerin kullanımına ait bir hava fotogrametrisi uygulaması Avustralya Queensland Teknik Üniversitesinde yapılmıştır. Bu çalışma; balıkgözü mercekler için mercek özelliklerini belirlemek, balıkgözü mercek görüntülerini rektifiye etmek, düşük kaliteli algılayıcılardan resim kaydetmek için birer yaklaşım sunar (Gurtner, A., 2008). Balıkgözü mercekler çok yakın mesafeden fotoğraf alımına olanak verdikleri için yakın resim fotogrametrisinde de balıkgözü mercek sistemi ile yapılmış çok sayıda uygulama mevcuttur.

Balıkgözü mercekler algılayıcı formatı ile ilgili olarak daire çapının boyutuna göre dairesel ve tüm biçim balıkgözü mercekler olarak iki sınıfa ayrılırlar. Dairesel balıkgözü merceklerin, görüntü dairesi tümüyle görüntü algılayıcısının içerisinde. Görüntü dairesinin çapı,

algılayıcının kısa kenarı kadardır (Şekil 4 sol). Tüm biçim balıkgözü merceklerin görüntü dairesi çapı ise algılayıcı formatın köşegenine benzer, bu yüzden köşegen balıkgözü mercek olarak isimlendirilirler (Şekil 4 sağ) .



Şekil 4. 180° dairesel balıkgözü mercek (sol), köşegen balıkgözü mercek (sağ)

Balıkgözü mercekler, iz düşüm geometrilerine göre de Egidistant, equisolid-angle, orthographic, stereographic projeksiyonlu mercekler olarak dört farklı şekilde sınıflandırılabilirler. Balıkgözü merceklerin çoğunun yapısı eqidistant ve equisolid-angle projeksiyona uymaktadır. Nadir olarak orthographic projeksiyona uyarlar. Stereographic projeksiyonlar ise genellikle teoriktir (Schneider, vd., 2009).

4. BALIKGÖZÜ MERCEKLERDE RESİM KOORDİNAT SİSTEMİ VE DİSTORSİYON MODELİ

Bir obje noktasının yarı küresel balıkgözü mercek görüntüsü içinde projeksiyonunu tanımlamak için; Şekil 5'te gösterildiği gibi üç koordinat sistemi kullanılır.

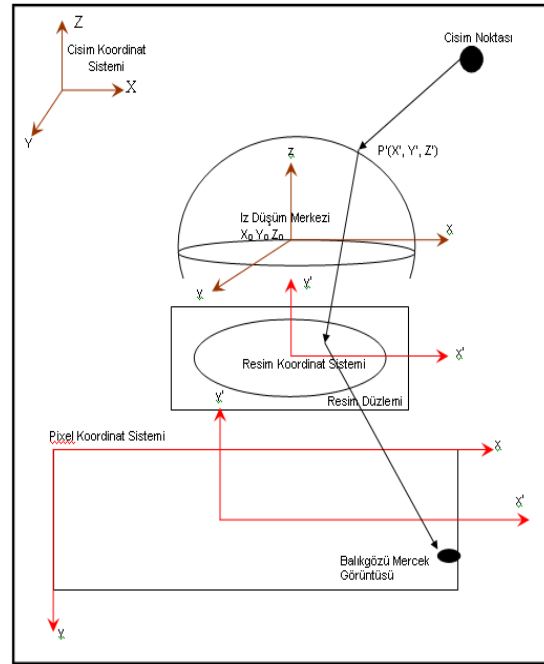
Cisim koordinat sistemi: (X, Y, Z)

İz düşüm koordinat sistemi: (x, y, z)

Resim koordinat sistemi: (x', y') geleneksel fotogrametrik uygulamalardaki gibi tanımlanır. Yani başlangıcı görüntü merkezidir ve x' ve y' eksenleri izdüşüm koordinat sisteminin x ve y eksenlerine paraleldir.

Balıkgözü merceklerin projeksiyon modellerinde resim koordinatları:

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



Şekil 5. Balıkgözü görüntü algılayıcıda iz düşüm modeli

(2) eşitliği ile bulunur. Eşitlikler son olarak ana noktanın koordinatları (x_0 ve y_0) ve düzeltme terimleri ile sistematik hataları telafi edebilmek için ek parametreleri içeren Δx ve Δy ile genişletilir.

Resim çekme makinelerinin mercek sistemlerinin fiziksel özellikleri nedeniyle ışık ışını resim düzlemi üzerinde olması gereken yerden farklı bir noktaya iz düşürülmektedir. Bu hata kaynaklarına genel olarak distorsiyon adı verilir. Resim çekme makinelerinde iki ana distorsiyon ile karşılaşılır. Bunlar; radyal distorsiyon, teğetsel distorsiyondur. Eksen dışı bir hedefin görüntüsü ana noktadan radyal olarak ya uzak ya da yakın yer değiştirmişse, resim radyal olarak distorsiyona uğramıştır. Resim çekme makinelerinde kullanılan çoklu mercek sistemini oluşturan merceklerin bütün elemanları aynı doğru üzerinde oluşmaması nedeniyle mercek merkezleri aynı doğru üzerinde bulunmazlar. Doğrultudan sapma resimde teğetsel (tanjant) distorsiyon adı verilen geometrik yer değiştirmeye sebep olacaktır (Marangoz, A.). Dijital görüntülerden geometrik ve semantik bilgilerin çıkarılmasından önce, uygulamalardan beklenen sonuç ürünler ve sonuç duyarlılıklara göre görüntülerin bu hatalardan arındırılması gerekir. Geometrik distorsiyonların en duyarlı şekilde giderildiği teknikler, sensörlerin kalibrasyonu için

modellenen ek parametreleri kullanan tekniklerdir (Temiz vd., 2005).

Ek parametrelerin resim üzerinde iki boyutlu resim koordinatları ve üç boyutlu cisim koordinatları bilinen noktaların girdi olarak kullanıldığı demet dengelemesi ile hesaplanması mümkündür. Bu yöntemde distorsiyon parametreleri bilinmeyen olarak demet dengelemesine dahil edilirler.

Fiziksel gerçeklikten dolayı balıkgözü modelinin sapmasını düzeltmek için (3) ve (4) eşitlikleri ek parametrelerin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar sapma ve ölçeği modelleyen parametreler olduğu gibi, radyal simetrik distorsiyon ve teğetsel distorsiyonu tanımlayan parametrelerdir (Schneider vd., 2009).

$$\Delta x = x'.(A_1 r'^2 + A_2 r'^4 + A_3 r'^6) + B_1.(r'^2 + 2x'^2) + 2B_2 x' y' + C_1 x' + C_2 y' \quad (3)$$

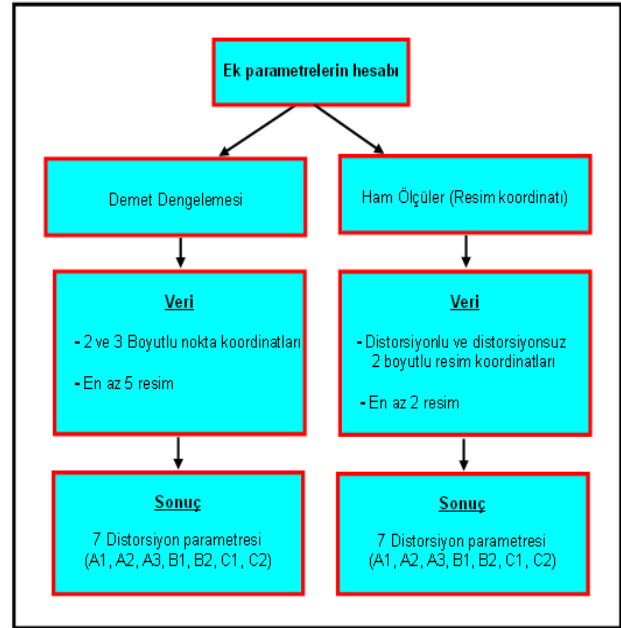
$$\Delta y = y'.(A_1 r'^2 + A_2 r'^4 + A_3 r'^6) + 2B_1 x' y' + B_2.(r'^2 + 2y'^2) \quad (4)$$

Burada A_1 , A_2 ve A_3 radyal distorsiyon parametrelerini, B_1 , B_2 dış merkezlilik distorsiyon parametrelerini, C_1 , C_2 yatay ölçek faktörünü göstermektedir. Geleneksel kamera sisteminde distorsiyon parametreleri 4 tane (2'si radyal, 2's teğetsel distorsiyon için) olmasına rağmen balıkgözü mercek için (3) ve (4) eşitliklerinde belirtilen 7 parametre kullanılmaktadır.

5. UYGULAMA

Balıkgözü merceklerin distorsiyon parametrelerinin hesabı için geleneksel yöntem ek parametrelerin demet dengelemesine bilinmeyen olarak ilave edilmesi ve dengeleme sonucunda hesaplanmasıdır. Geleneksel dengeleme yapısı olarak kullanılan bu parametre belirleme yöntemi veri olarak iki ve üç boyutlu koordinat sistemine uygun koordinat verisi ve en az beş farklı görüntünün elde edilmesini gerekli kılar. Ancak günümüz kamera sistemleri, kullanıcıya belirli bir alanın ya da objenin ham (distorsiyonlu) görüntüsünü ve optiksel olarak donanımın kalibrasyon parametrelerine göre belirlenmiş rektifiye (distorsiyonsuz) görüntülerini birlikte verebilmektedir. Çalışmanın uygulamasında kullanılan Ladybug2 çok

algılayıcı kamera sistemi bu tarz bir donanımdır. Bu yeni kamera sistemlerinde ek parametreler olarak kullanılan distorsiyon parametrelerinin, ham ve rektifiye resim koordinatı ölçmelerinden de hesaplanabilmesi mümkün olabilecektir. Ladybug2 benzeri ham ve rektifiye görüntüyü kullanıcıya birlikte veren kamera sistemlerinde distorsiyon parametreleri Şekil 6'da gösterildiği gibi iki farklı yöntemle hesaplanabilir.



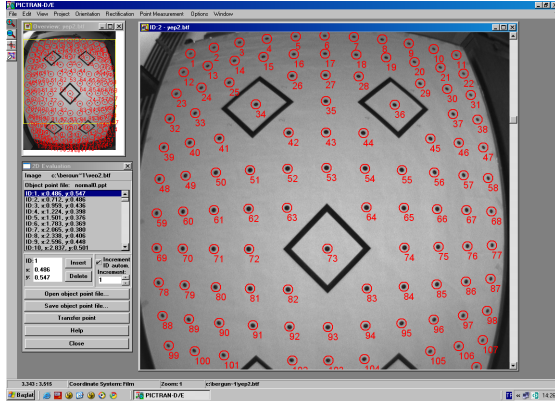
Şekil 6. Ladybug2 için ek parametre hesaplama yöntemleri

Bu çalışmada; distorsiyonlu görüntü ve onun Ladybugcap.exe yazılımı tarafından üretilen rektifiye görüntüsünden Ladybug2 çok algılayıcı sisteminin her algılayıcısı için (3) ve (4) denklemlerinde modellenmiş olan ek parametreler Pictran D ve Matlab 7.0 yazılımları kullanılarak hesaplanmıştır. Merkezi izdüşüme temel oluşturan distorsiyon fonksiyonları $(\Delta x, \Delta y)$ içerisinde kullanılan x' ve y' resim koordinatları otomatik ölçme ile belirlenen ham resim koordinat değerleri olarak düşünülmüş ve doğrudan kullanılmak suretiyle distorsiyon fonksiyonları içerisinde yer almışlardır.

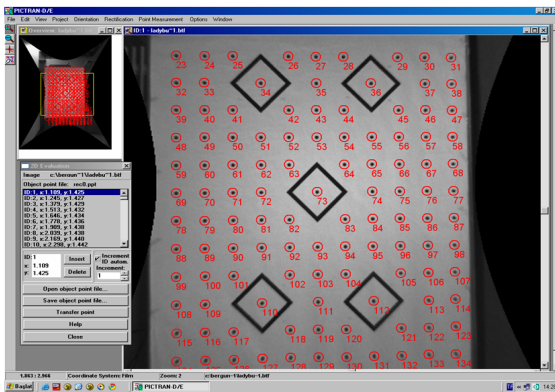
Uygulamada Ladybug2 çok algılayıcı kamera sistemindeki algılayıcıların düşey olması nedeniyle 841X1189 mm. boyutlarında (A0 kağıt ölçüsünde) iki boyutlu test alanı düşey şekilde konulmuştur. Test alanının her satırında 11 tane resim noktası bulunmaktadır. Toplam satır sayısı ise 15 tir. Noktalar arasındaki mesafe 8 cm. dir. Öncelikle; test alanının tamamı Ladybug2 çok

algılayıcı kamera sisteminin 1. algılayıcısının tüm görüş alanına girecek şekilde konumlandırılmıştır. 1. algılayıcı için test alanına ait ham (distorsiyonlu) ve rektifiye edilmiş (distorsiyonsuz) görüntüler elde edilmiştir. Test alanının ham ve rektifiye görüntüleri 1024x768 çözünürlüğündedir.

Şekil 7'de 1. algılayıcıya (kameraya) ait distorsiyonlu resim, Şekil 8'de ise aynı algılayıcıya ait rektifiye resim gösterilmektedir.



Şekil 7. 1. Algılayıcının distorsiyonlu resmi

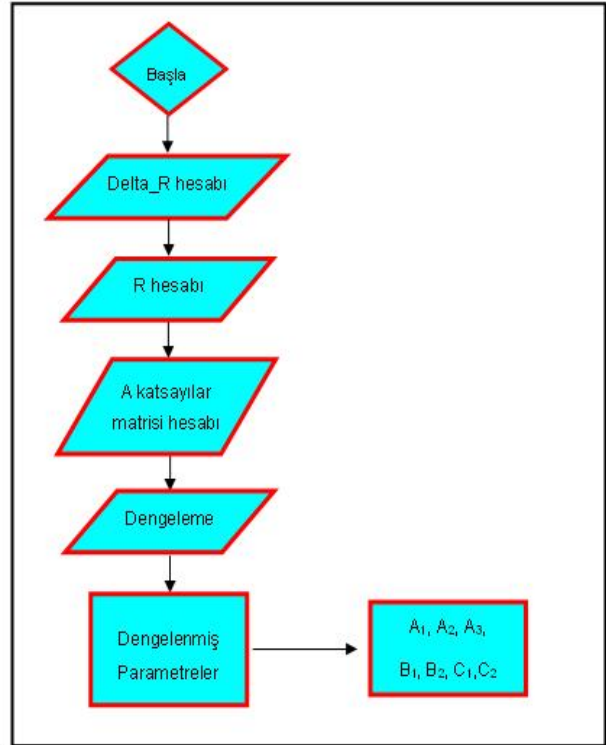


Şekil 8. 1. Algılayıcının rektifiye resmi

Bu işlem diğer 5 algılayıcının her biri için tekrarlanmış, sonuçta 6 algılayıcı için görüntü elde etme işlemi tamamlanmıştır. Görüntüler elde edildikten sonra her bir algılayıcıya ait ham ve yazılım tarafından rektifiye edilmiş iki resim Pictran D yazılımında açılıp, hedef resim koordinatları otomatik ölçme yöntemi ile ölçülmüş, iki boyutlu resim koordinatları elde edilmiştir.

Resim koordinatları veri olarak kabul edilip, Matlab 7.0 yazılımı ile öncelikle test alanındaki her nokta için radyal distorsiyonlar bulunmuştur.

Bu değerler ile (3) ve (4) teki bilinmeyenlerin katsayıları hesaplanıp, 290X7 boyutunda A katsayılar matrisi elde edilmiştir. Dengeleme hesabı ile $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, C_1, C_2$ distorsiyon parametreleri hesaplanmıştır. Matlab7.0'da geliştirilen yazılımın akış şeması şekil 9'da gösterilmektedir. Tüm algılayıcılar için bu çalışma tamamlanarak LadybugCap.exe yazılımının ham resmi rektifiye ederken kullandığı parametreler iz düşünüm yöntemine göre bulunmuştur.



Şekil 9. Matlab7.0 ile yapılan yazılım akışı

Ladybug2 çok algılayıcı kamera sistemindeki özdeş altı algılayıcının her birine ait 7 şer adet distorsiyon parametreleri ($A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, C_1, C_2$) katsayı değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kameraların distorsiyon parametre değerleri

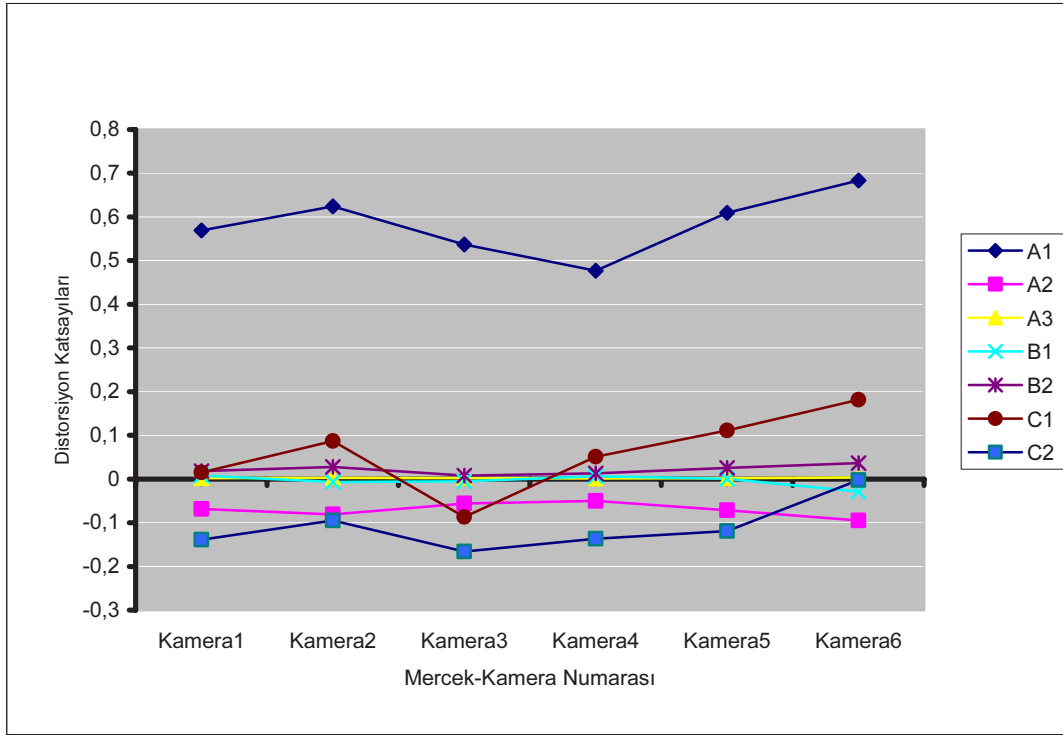
	Kamera 1	Kamera 2	Kamera 3	Kamera 4	Kamera 5	Kamera 6
A1	0,56937	0,62432	0,53724	0,47705	0,60926	0,68348
A2	-0,06849	-0,08090	-0,05588	-0,05009	-0,07118	-0,09478
A3	0,00225	0,00287	0,00161	0,00143	0,00223	0,00356
B1	0,00794	-0,00664	-0,00544	0,00636	0,00044	-0,02874
B2	0,01779	0,02792	0,00810	0,01314	0,02514	0,03660
C1	0,01493	0,08659	-0,08642	0,05092	0,11149	0,18149
C2	-0,13887	-0,09489	-0,16594	-0,13629	-0,11924	-0,00263

6. SONUÇ

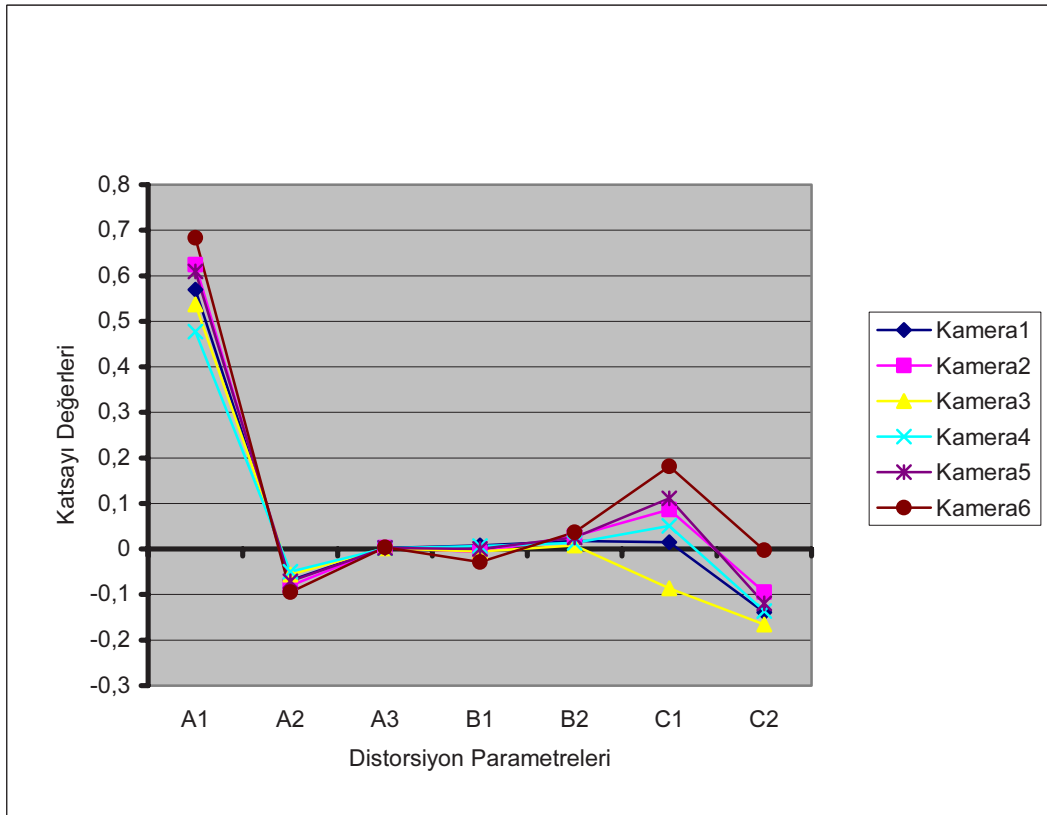
Yapılan bu uygulama sonucunda Laydbug2 çok algılayıcıli kamera sisteminde kullanılan 6 algılayıcının her birine ait 7 şer adet distorsiyon parametreleri ile parametrelerin kendi aralarındaki dağılımları Şekil 10'da, her bir algılayıcıya ait parametrelerin birbirlerine göre grafikleri Şekil 11'de gösterilmektedir. Şekil 10'da görüldüğü gibi tüm parametreler birbirine yakındır. A1'lerin diğer parametrelere göre daha yüksek değer aldığı görülmektedir. Şekil 11'de ise her bir algılayıcı için parametreler ile bir doğrusal fonksiyon düşünülürse, fonksiyonu oluşturan eğimlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu da eşlenik merceklerin kullanıldığını göstermektedir. Bulunan bu katsayı değerleri için en yüksek standart sapma $1,5 \times 10^{-2}$,

en düşük standart sapması ise $1,15 \times 10^{-6}$ dır. Donanımı oluşturan özdeş algılayıcıların piksel çözünürlüğünün 4.65 mikron olduğu bilindiğine göre yapılan bu uygulamada elde edilen katsayıların piksel standart sapmasının en büyük değeri 0,322 pikseldir.

Elde edilen bu değerlerin ek parametreler ile demet dengelemesi algoritması kullanılarak da tespit edilmesi mümkündür. Bu yöntem ile elde edilen distorsiyon parametrelerinin ek parametrelerle yapılacak demet dengelemesi ile elde edilecek sonuçlarla karşılaştırması gelecekte yapılacak bir çalışma olarak düşünülmektedir.



Şekil 10. Katsayı değerleri analizi



Şekil 11. Balıkgözü mercek distorsiyon parametreleri

KAYNAKLAR

- Antone, M., 2005, **An elipsoidal lens model for fisheye calibration**, Technical Report TR-1940, BAE Systems Advanced Information Technologies, Computer Vision Group
- Ergun, B., Şahin, C., 2009, **Günümüzde Kullanılan Optik ve Sayısal Fotogrametri Teknikleri**, Harita dergisi, sayı 142, Sn. 40-50
- Gurtner, A., 2008, **Investigation of Fisheye Lenses for Small UAV Aerial Photography**. Master of Science, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.
- Hellmeir, H. J., 1984, **The Use of Fisheye_Lenses in Close-Range Photogrammetry**, XV. International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, Rio de Janeiro, Brasil.
- Ikeda, S., Sato, T., Yokoya, N., 2003, **A Calibration Method for an Omnidirectional Multi-Camera System**, <http://yokoya.aist-nara.ac.jp/paper/datas/655/paper.pdf>
- Kock, O., 2007, **Wide-Area Egomotion from Omnidirectional Video and Coarse 3D Structure**, Master of Science, Massachusetts Institute of Technology
- Marangoz, A., http://jeodezi.karaelmas.edu.tr/linkler/akademik/marangoz_files/Yayinlar/C/AycanTezi.pdf
- Sato, T., Ikeda, S., Yokoya, N., 2004, **Extrinsic Camera Parameter Recovery from Multiple Image Sequences Captured by an Omnidirectional Multi-camera System**, Lecture Notes in Computer Science Book Series ISBN 978-3-540-21983-5, Volume 3022/2004 pp.326-340
- Schneider, D., Schwalbe, E., Mass H.-G., 2009, **Validation of geometric models for fisheye lenses**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 64, pp. 259-266
- Schneider, D., Schwalbe, E., 2008, **Integrated processing of Terrestrial Laser Scanner Data and Fisheye-Camera Image Data**, XXI Congress The International Society for Photogrammetry and Remote sensing, Beijing, China
- Temiz, M.S., Doğan, S., 2005, **Dijital Görüntülerin Rektifikasyonu: Sensör Modelleri, Geometrik Görüntü Dönüşümleri ve Yeniden Örnekleme**, TMMOB Harita ve Kadastro mühendisleri Odası 10. Türkiye Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Uyttendaele, M., Criminisi, A., Kang, S. B., Winder, S., Hartley, R., Szeliski, R., 2003, **High-quality Image-based Interactive Exploration of Real-World Environments**, Technical Report, MSR-TR-2003-61