

Yersel Fotogrametri Matematik Modellerini Test Etmek İçin Bir Simülasyon Algoritması

Orhan Kurt^{1*}, Hamit Akan²

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli.

²Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Jeoinformasyon ABD, 41380, Kocaeli.

Özet

Bir matematik modeli kavramanın, test etmenin ya da geliştirmenin en iyi yolu, model parametreleri bilinen yapay bir veri seti oluşturmaktır. Bu çalışmada yersel fotogrametride (iç ve dış yönelme elemanlarının bulunması için) kullanılan matematik modelleri test edebilmek ve geliştirebilmek için, dijital bir kamera ile alınan bir görüntü simülasyonunun matematiksel algoritması verilmiştir. Bu algoritma 3B (üç boyutlu) uzayda konumu bilinen bir objenin (evin) dijital görüntüsü oluşturularak test edilmiştir.

Simülasyon için Python ortamında bir yazılım geliştirilmiştir. Bu simülasyon yazılımı, dış yönelme (izdüşüm merkezi ve resim çekim doğrultusu) ve iç yönelme (odak uzaklığı, asal noktanın konumu) elemanları bilinen bir kamera ile 3B koordinatları verilen bir obje için istenilen çözünürlükte dijital görüntüleri kolayca elde edilebilmektedir. Önerilen bu simülasyon modeline, çapsal ve teğetsel mercek distorsiyonları da eklenebilmektedir.

Anahtar Sözcükler

Yersel Fotogrametri, Simülasyon, Dijital Görüntü

A Simulation Algorithm to Test Mathematical Models in Terrestrial Photogrammetry

Abstract

The best way to comprehend and test and develop a new or known mathematical model in any study area is to construct an artificial dataset with known model parameters. In this study, a mathematical algorithm of a simulated image taken with a digital camera has been given to test and develop mathematical models used (for internal and external orientation elements) in terrestrial photogrammetry. This algorithm has been tested by an object (a house) whose vertex coordinates are given in 3D world.

A software for the simulation has been developed in the Python environment. This simulation software can easily acquire digital images at the desired resolution for an object given the 3D coordinates by a digital camera whose external orientation (projection center and image acquisition direction) and internal orientation (focal length, the position of the principal point) elements are known. Radial and tangential lens distortions can also be added to the proposed simulation model

Keywords

Terrestrial Photogrammetry, Simulation, Digital View

1. Giriş

Fotogrametri, metrik kameralarla (analog ya da dijital) alınan görüntülerden (resimlerden) mühendislik amaçlı konum bilgisi üretme sanatı olarak tanımlanabilir. Görüntülerin bir yer noktasından alınarak fotogrametrik değerlendirme yapılması ise Yersel Fotogrametri olarak adlandırılmaktadır (Yaşayan, 1989;1990; Kraus, 2004).

Benzer matematik ilişkilerin kullanıldığı fotogrametri ile bilgisayarlı görme (computer-vision) arasında çok sıkı bir ilişki vardır. Bilgisayarlı görme; hareketsiz ya da hareketli nesnelerin, dijital ortama aktarılması vb. ile ilgilenen bir disiplindir. Yüz, parmak izi, görüntülerden bilgi edinme vb. konuların da yer aldığı bilgisayarlı görmenin bu kısmı fotogrametrik değerlendirme ile daha çok benzeşmektedir (Szeliski, 2010).

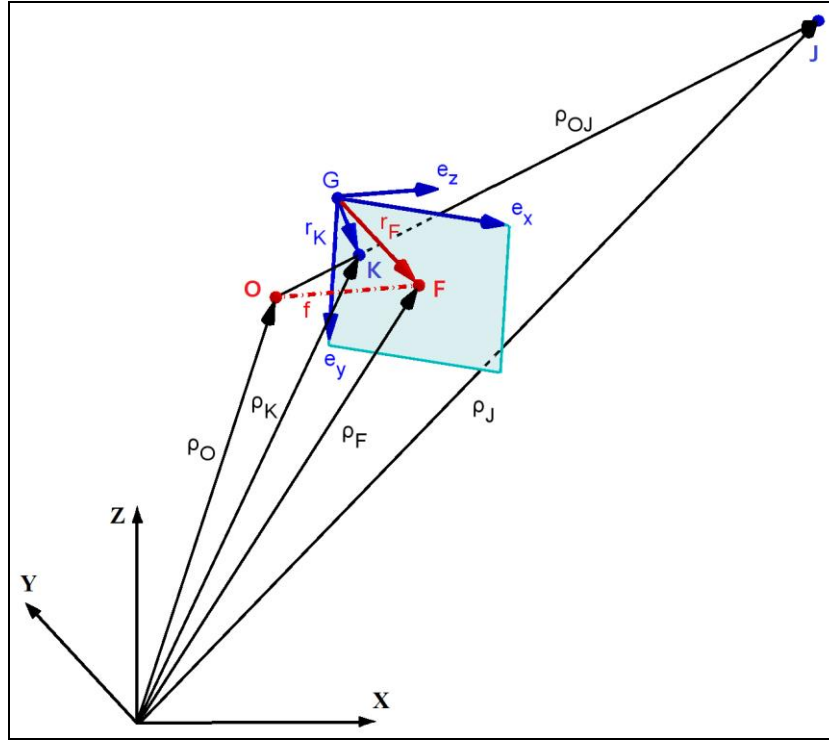
Bu çalışmanın amacı metrik olmayan bir kameranın (sözelimi bir cep telefonu kamerasının) önce yönelme elemanlarının hesaplanması ve bu kamera ile çekilen bir resim ile modelleme yapılması amaçlanmaktadır. Modelleme yapabilmek için; yersel fotogrametride kullanılan matematik modelleri kavramak gerekmektedir. Bunun en önemli aşaması tek resim değerlendirmesindeki matematik ilişkilerin iyi kavranması bağlıdır. Bunun en iyi yolu ise tek bir görüntü alma sürecinin simülasyonunu yapmaktır. Çalışmada böyle bir simülasyon algoritması vektör analizi (Spiegel, 1959) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyon algoritmasının matematik yapısı adımlar halinde açık olarak verilmiştir.

* Sorumlu Yazar E-posta: orhnkrt@gmail.com.tr (Orhan Kurt)

Önerilen simülasyon yöntemi; 3B koordinatları bilinen basit bir cisim ile iç ve dış yöneltme elemanları belli olan bir dijital görüntünün oluşturulmasını kapsamaktadır. Simülasyonda kullanılan yazılım *Python 3.6.0* ortamında geliştirilmiş (Python, 2017), çizimler simülasyon yazılımı ile hesaplanan değerlerden yararlanarak *GeoGebra* programı ile gerçekleştirilmiştir (GeoGebra, 2017). Sayısal uygulama bölümünde kullanılan evin 3B koordinatları, evin istenen yöneltme elemanlarına göre hesaplanan 3B uzaydaki resim düzlemi içindeki koordinatları ve öngörülen çözünürlükteki dijital görüntü koordinatları verilmiştir.

2. Yersel Fotogrametri İçin Simülasyon Algoritması

Simülasyon için matematiksel ilişkilerin kurulacağı değişmez (inersiyal) bir koordinat sistemine (X, Y, Z) ihtiyaç vardır (Şekil 1). Bu koordinat sistemindeki konum vektörleri $\rho_I = [X_I \ Y_I \ Z_I]^T$ $\{I = O, F, G, J, K\}$ ile gösterilirken, bu koordinat sistemi içerisinde herhangi bir başlangıca ötelenmiş konum vektörleri $\rho_{OJ}, \rho_{OF}, \rho_{OG}, \rho_{OK}, \dots$ vb. şekilde gösterilmiştir. Burada; O : izdüşüm merkezi, F : asal nokta, G : dijital görüntünün başlangıç noktası, J : obje üzerinde herhangi bir nokta, K : J noktasının resim düzlemindeki görüntüsü olarak temsil edilmiştir (Şekil 1). e_I $\{I = O, F, G, J, K, X, Y, Z, x, y, z\}$ ise bu koordinat sistemindeki birim vektörlerdir. Dijital görüntü düzleminin İnersiyal sistemdeki birim vektörleri e_x (sağa), e_y (aşağı), e_z (resim çekim doğrultusu) ve bu eksenler etrafında inersiyal sisteme göre dönükler ω, φ ve κ dır (Şekil 1).



Şekil 1: Metrik konum vektörleri ve resim düzlemi.

Simülasyon için gerekli olan bilgiler; izdüşüm merkezinin konum vektörü (ρ_O), 3B uzaydaki obje yada objelerin konum vektörleri ($\rho_J, \{j=1,2,\dots,n\}$:konum vektörü sayısı), odak uzaklığı (f), dijital görüntünün boyutları ($SAĞA \cdot AŞAĞI \text{ px}^2$, px :piksel), görüntünün odak düzlemindeki çözünürlüğüdür ($\lambda \text{ px/m}$).

(1) İnersiyal sistemde resim çekim doğrultusunun (e_{OF}) ve asal noktanın konum vektörünün (ρ_F) hesaplanması: Resim çekim doğrultusu; verilen obje noktalarının mümkün olduğunca dijital görüntü sınırları içerisinde kalmasını sağlamak için, bu obje noktalarının konum vektörlerinin ortalamasına göre belirlenmelidir (Şekil 1). ($\|*\|$: “*” vektörünün normu).

$$\rho_M = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \rho_J \quad (1)$$

$$\mathbf{e}_{OF} = \frac{\mathbf{p}_M - \mathbf{p}_O}{\|\mathbf{p}_M - \mathbf{p}_O\|} \quad (2)$$

$$\mathbf{p}_F = \mathbf{p}_O + f \mathbf{e}_{OF} \quad (3)$$

(2) *İnrsiyal sisteme göre resim koordinat sisteminin ($\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$) belirlenmesi:* Bu koordinat sisteminin birim vektörleri, inersiyal koordinat sisteminin birim vektörleri $\mathbf{e}_x = [1 \ 0 \ 0]^T$, $\mathbf{e}_y = [0 \ 1 \ 0]^T$, $\mathbf{e}_z = [0 \ 0 \ 1]^T$ ve vektörel çarpım ($\times$) olmak üzere aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır (Şekil 1).

$$\mathbf{e}_x = \mathbf{e}_{OF} \times \mathbf{e}_x \quad (4)$$

$$\mathbf{e}_y = \mathbf{e}_{OF} \times \mathbf{e}_x \quad (5)$$

$$\mathbf{e}_z = \mathbf{e}_{OF} \quad (6)$$

(3) *Dijital görüntünün başlangıç noktasının ($\mathbf{p}_G$) inersiyal sisteme göre hesaplanması:* Asal noktanın konum vektörü ($\mathbf{p}_F$), görüntünün boyutları SAĞA ve AŞAĞI değerleri ile bunların birim vektörlerinden ($\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y$) yararlanarak $\mathbf{p}_G$ aşağıdaki şekilde bulunur (Şekil 1).

$$\mathbf{p}_G = \mathbf{p}_F + \frac{1}{2\lambda} \{-SAGA \mathbf{e}_x - ASAGI \mathbf{e}_y\} \quad (7)$$

Eğer istenirse asal nokta koordinatlarına burada ($SAĞA+dx_F$ ve $AŞAĞI+dy_F$ gibi) asal nokta hataları eklenebilir.

(4) *J noktasının dijital görüntü üzerindeki izdüşümü K noktasının konumunun ($\mathbf{p}_K$) inersiyal sisteme göre hesaplanması:* Obje noktasının inersiyal sistemdeki doğrultusu ($\mathbf{e}_{OJ}$), odak uzaklığı (f) ve skaler çarpım ($\cdot$) olmak üzere J noktasının görüntüsü olan K noktasının inersiyal sistemdeki koordinatları (8-10) bağıntıları ile hesaplanır (Şekil 1).

$$\mathbf{e}_{OJ} = \frac{\mathbf{p}_J - \mathbf{p}_O}{\|\mathbf{p}_J - \mathbf{p}_O\|} \quad (8)$$

$$\overline{OK} = \frac{f}{\mathbf{e}_{OJ} \cdot \mathbf{e}_{OF}} \quad (9)$$

$$\mathbf{p}_K = \mathbf{p}_O + \overline{OK} \mathbf{e}_{OJ} \quad (10)$$

Eğer istenirse (çapsal ve belirlenmesi zor olan teğetsel) mercek distorsiyonları bu aşamada işleme dahil edilebilir. Sözelimi, çapsal distorsiyon (Δ) açısız olarak $\approx \Delta / \overline{OK}$ hesaplanarak $\mathbf{e}_{OJ} \cdot \mathbf{e}_{OF}$ değerine eklenebilir.

(5) *Resim dönüklüğünün uygulanması (ω, φ, κ) ve dijital görüntünün elde edilmesi (u, v):* 3B uzaydaki dönüklük matrisinden ($\mathbf{R}(\omega, \varphi, \kappa) = \mathbf{R}_x(\omega) \mathbf{R}_y(\varphi) \mathbf{R}_z(\kappa)$) yararlanarak dijital görüntü koordinatları aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\mathbf{r}_{GK} = \mathbf{p}_K - \mathbf{p}_G \quad (11)$$

$$\mathbf{r}_K = \mathbf{R}(\omega, \varphi, \kappa) \mathbf{r}_{GK} \quad (12)$$

$$r_K = \|\mathbf{r}_K\| = \|\mathbf{r}_{GK}\| \quad (13)$$

$$\mathbf{e}_{GK} = \frac{\mathbf{r}_{GK}}{r_K} \quad (14)$$

$$\theta_K = \arccos\{\mathbf{e}_x \cdot \mathbf{e}_{GK}\} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} u_K \\ v_K \\ 0 \end{bmatrix} = \text{round} \left\{ \begin{bmatrix} r_K \cos \theta_K \\ r_K \sin \theta_K \\ 0 \end{bmatrix} \right\} \quad (16)$$

(16) bağıntısı ile verilen piksel birimli koordinatlar, dijital görüntünün sol üst köşesinden başlayan sağa doğru artan u_K ve aşağıya doğru artan v_K ($K=1,2,\dots,n$) koordinatlarıdır.

Yukarı verilen algoritmaya göre türetilen dijital görüntü ve kontrol noktaları kullanılarak kurulan bir matematik model ile kestirilen iç ve dış yönelme parametreleri, bilinen değerleri ile karşılaştırılarak söz konusu matematik model test edilir.

3. Sayısal Uygulama

Bu çalışmanın amacı, metrik olmayan bir kameranın (sözelimi bir cep telefonu kamerasının) yöneltme elemanlarının bulunmasını ve bu kamera ile çekilen dijital resimlerden modelleme yapılmasını sağlayan yazılımlar geliştirmektir. Bu çalışma bir yüksek lisans tezi olarak düşünülmüştür. Öngörülen tez çalışmasında yersel fotogrametrideki matematik modellerin incelenmesi, geliştirilmesi ve kullanılacak bütün yazılımların yazarlar tarafından yazılması düşünülmüştür. Yersel fotogrametrideki matematik modelleri kavramak ve test etmek için ilk önce simülasyondan başlanmıştır.

Bu çalışmada, algoritması bir önceki başlık altında verilen işlemleri gerçekleştiren *Python 3.6.0 (stable)* (Python, 2017) versiyonunda bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılımda; *Python* programının bilinen kütüphaneleri (*scipy*, *numpy*, *matplotlib*, *basemap* vb.) kullanılmamış, çekirdek programla gelen kütüphanelere (*math*, *turtle*) dayalı olarak bütün alt programlar (matris işlemleri, vektör işlemleri, vb.) yazarlar tarafından oluşturulmuştur. *Python* programından sadece derleyici program olarak yararlanılmıştır. *Python* programının yaygın olarak kullanılan kütüphanelerinin kurulmasında sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sorunları gidermek için Gohlke (2017) web adresinden yararlanılabilir.

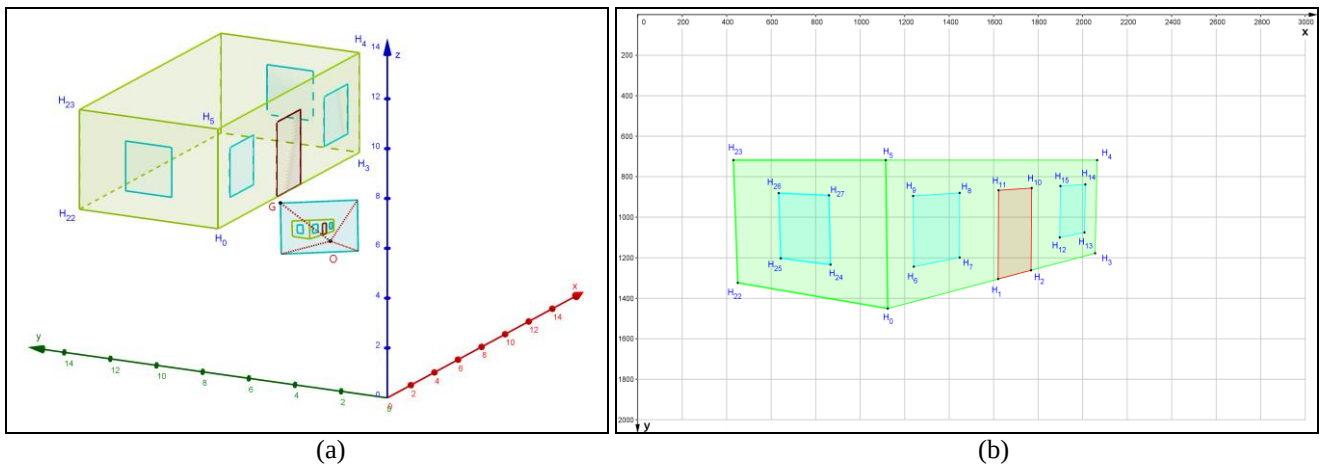
Çalışmadaki çizimler *GeoGebra* (GeoGebra, 2017) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Bu program içine Java dilinde alt programlar yazılabilmesine rağmen, *Python* ortamında geliştirilen simülasyon yazılımının çıktıları, *GeoGebra* programına girdi olacak şekilde hesaplanmıştır (Tablo 2). *GeoGebra* sadece çizim amaçlı kullanılmıştır.

Simülasyon yazılımı Tablo 1 ve Tablo 2 (3B yersel koordinatlar) de verilen bilgileri kullanarak (1-16) eşitlikleri ile verilen simülasyon algoritması yardımı ile yapay dijital görüntü oluşturmaktadır (Tablo 1-2). Yazılım 3B koordinatları verilen herhangi bir cisim (çalışmada Şekil 2a da verilen) yada cisim grubunun koordinatlarını dosyadan okur. Bu koordinatların ağırlık merkezini hesaplar. İzdüşüm merkezinden bu ağırlık merkezine, resim çekim doğrultusunu belirler.

Tablo 1: Türetilcek olan dijital görüntünün temel özellikleri, iç ve dış yöneltme parametreleri

Simge	Açıklama	Çalışmada Kullanılan değeri	Birimi
Dijital Görüntü Bilgileri			
SAGA, AŞAĞI	Görüntünün genişliği ve yüksekliği	3000, 2000	piksel
λ	Odak düzlemindeki çözünürlük	1/0.001	piksel/m
İç yöneltme elemanları			
f, dx_F, dy_F	Odak uzaklığı, asal nokta düzeltmeleri	3.0, 0.0, 0.0	m
ω, φ, κ	Resim koordinat sisteminin dönüklükleri	0.0, 0.0, 0.0	derece
Dış yöneltme elemanları			
$O (X_0, Y_0, Z_0)$	İzdüşüm merkezi	3.000000, 4.000000, 5.000000	m

İzdüşüm merkezi, izdüşüm doğrultusu, odak uzaklığı ve noktaların koordinatlarından yararlanılarak resim düzlemindeki 3B koordinatlar (Tablo 2) hesaplanır. Bu hesaplama sonucunda Şekil 2a da G dijital resmin sol üst köşesi ve O izdüşüm merkezi olmak üzere, evin 3B resim düzlemindeki koordinatları elde edilmiş olur (Şekil 2a).



Şekil 2: (a) Yersel ve resim düzlemindeki 3B koordinatlar [m], (b) dijital resimdeki 2B koordinatlar [px].

Elde edilen 3B uzaydaki bu metrik görüntü dijital görüntü çözünürlüğü (λ) ve G noktası koordinatlarından yararlanılarak Tablo 1 de verilen özellikteki yapay dijital görüntüye dönüştürülür (Şekil 2b, Tablo 1-2). Evin hesaplanan dijital görüntü koordinatları Tablo 2 de son iki sütunda verilmiş ve Şekil 2b de dijital görüntü çizdirilmiştir.

Tablo 2: Metre birimli 3B arazi ve resim düzlemi koordinatları ile piksel (px) birimli 2B resim koordinatları

3B Yersel Koordinatlar				Resim Düzlemindeki 3B Koordinatlar				2B Dijital Resim Koordinatları	
J	X [m]	Y [m]	Z [m]	K	X _K [m]	Y _K [m]	Z _K [m]	x _K [px]	y _K [px]
				O	3.000000	4.000000	5.000000		
				F	5.439611	5.723217	4.719251		
				G	4.650642	7.002391	5.714863		
0	15.0000	15.0000	1.0000	0	5.188285	6.005928	4.270572	1124	1451
1	20.0000	15.0000	1.0000	1	5.485712	5.608402	4.415127	1620	1305
2	22.0000	15.0000	1.0000	2	5.574100	5.490268	4.458084	1768	1262
3	27.0000	15.0000	1.0000	3	5.747076	5.259077	4.542154	2056	1178
4	27.0000	15.0000	5.0000	4	5.786879	5.277320	5.000000	2065	718
5	15.0000	15.0000	5.0000	5	5.239237	6.052634	5.000000	1115	718
6	16.0000	15.0000	2.0000	6	5.271290	5.921861	4.475856	1241	1244
7	18.0000	15.0000	2.0000	7	5.393965	5.755574	4.521207	1447	1199
8	18.0000	15.0000	4.0000	8	5.418042	5.773230	4.838797	1447	880
9	16.0000	15.0000	4.0000	9	5.296320	5.943040	4.823360	1238	895
10	22.0000	15.0000	4.0000	10	5.607154	5.509405	4.862781	1771	856
11	20.0000	15.0000	4.0000	11	5.520198	5.630716	4.851753	1622	867
12	24.0000	15.0000	2.0000	12	5.660867	5.393788	4.619876	1897	1100
13	26.0000	15.0000	2.0000	13	5.726960	5.304198	4.644310	2008	1075
14	26.0000	15.0000	4.0000	14	5.747282	5.313918	4.880553	2012	838
15	24.0000	15.0000	4.0000	15	5.682070	5.404894	4.872282	1900	846
16	27.0000	21.0000	1.0000	16	5.427830	5.719713	4.595362	1496	1124
17	27.0000	21.0000	5.0000	17	5.458866	5.741697	5.000000	1496	718
18	27.0000	17.0000	2.0000	18	5.640757	5.430410	4.669905	1855	1050
19	27.0000	19.0000	2.0000	19	5.533987	5.583742	4.683252	1668	1036
20	27.0000	19.0000	4.0000	20	5.550789	5.594243	4.893717	1669	825
21	27.0000	17.0000	4.0000	21	5.659010	5.440297	4.889208	1858	829
22	15.0000	21.0000	1.0000	22	4.809257	6.563114	4.396914	450	1324
23	15.0000	21.0000	5.0000	23	4.843947	6.612258	5.000000	430	718
24	15.0000	17.0000	2.0000	24	5.056383	6.227748	4.485904	867	1234
25	15.0000	19.0000	2.0000	25	4.929749	6.412186	4.517563	643	1203
26	15.0000	19.0000	4.0000	26	4.949306	6.436632	4.837558	634	881
27	15.0000	17.0000	4.0000	27	5.078606	6.251823	4.826783	860	892

Tablo1 de verilen değerlere göre türetilmiş olan Tablo 2 deki dijital görüntü değerleri kullanılarak, herhangi bir matematik model kolayca test edilebilir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bir matematik modeli kavramanın, test etmenin ve geliştirmenin en iyi yolu simülasyon yapmaktır. Hesaplanmak istenen değerlerin önceden bilindiği simülasyon, matematik modellerin kavranması, test edilmesi ve geliştirilmesi için en önemli aşamadır. Bu çalışma, yersel fotogrametri alanında yazılım geliştirilmesi düşünülen bir yüksek lisans tezinin birinci aşamasını oluşturmaktadır. Bu amaçla bir yazılım geliştirilmiş, bu yazılımın başarısı örnek bir uygulama üzerinde test edilmiştir.

Simülasyonda kullanılan cismin 3B koordinatlarının hangi koordinat sisteminde (ITRF, Kuzey(n)-Doğu(e)-Yukarı(u), ...) verildiği önemli değildir. Farklı koordinat sistemi seçimi ek dönüşüm bağıntılarına neden olabilir. Bu dönüşüm bağıntıları önerilen simülasyon algoritmasını etkilemez.

Okuyucunun matematik yapıyı iyi kavranabilmesi için sayısal uygulama bölümünde resim koordinat sisteminin dönüklükleri sıfır alınmış, resim merkezi ile asal nokta çakışık kabul edilmiş ve mercek distorsiyonları göz ardı edilmiştir. Fakat bu parametrelerin simülasyon adımları içerisinde nasıl dikkate alınması gerektiği açık olarak gösterilmiştir. Okuyucu

isterse, kullanacağı kameranın teknik özelliklerine göre bu parametrelerin aldığı değerleri belirleyip simülasyon modelinde önerilen yerlere kolayca eklenebilir.

Tek resim değerlendirmesine göre önerilen simülasyon algoritmasında, sadece izdüşüm merkezinin koordinatları (O) değiştirilerek cismin farklı yönlerden dijital görüntüleri türetilmektedir. Önerilen algoritma çift resim değerlendirme modellerinin test edilmesinde de kullanılabilir.

Kaynaklar

- GeoGebra, (2017), Dynamic mathematics for learning and teaching, <https://www.geogebra.org/>, [14 Şubat 2017].
- Gohlke, C., (2017), Unofficial Windows Binaries for Python Extension Packages, <http://www.lfd.uci.edu/~gohlke/pythonlibs/>, [14 Şubat 2017].
- Kraus, K., (2004), *Photogrammetry, Geometry from Images and Laser Scans*, etri Ders Notları, De Gruyter Textbook, Walter de Gruyter, Berlin NewYork.
- Python, (2017), <https://www.python.org/>, [14 Şubat 2017].
- Spiegel, M. R., (1959), *Vector Analysis and an Introduction to Tensor Analysis*, Schaum's Outlines Series, McGraw-Hill, ISBN 07-060228-X
- Szeliski, R., (2010), *Computer Vision: Algorithms and Applications*, September 3, 2010, ©2010 Springer, <http://szeliski.org/Book/>, [14 Şubat 2017].
- Yaşayan A., (1989), *Fotogrametri I*, Ders Notları, KTÜ-MMF Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Trabzon (Basılmadı).
- Yaşayan A., (1990), *Fotogrametri II*, Ders Notları, KTÜ-MMF Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Trabzon (Basılmadı).