

PLEIADES-HR UYDUSUNUN SENSÖR MODELİ VE PERSPEKTİF MERKEZ NOKTASI HESABI İÇİN OPTİK EKSENE GÖRE SİMETRİK KAMERA MODELİ KULLANILMASI

Kamil B. ALICI^{1*}

TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Ankara

ÖZET

Bu çalışmada Korsh Tipi Pleiades-HR uydu kamerasının optik eksene göre simetrik benzeri oluşturularak perspektif merkez noktası yüksek doğrulukta bulunmuştur. Yer gözlem uydularının sensör modellerinin oluşturulmasında perspektif merkez noktasının belirlenmesi, çeşitli başarımlar parametrelerinin ve görüntülerin elde edilmesinde büyük önem taşımaktadır. Burada Pleiades-HR örnek sistemi için hesaplanan perspektif merkez noktası değerinin, literatürde geçen etkin odak uzaklığı ile farkı analiz edilmiş, genel görüntü kalitesi (GIQE) değerinde %0.161-%0.082 arası farklılık oluşabileceği gösterilmiştir. Perspektif merkez noktası parametresi geometrik konumlama ve hassas yersel konum doğruluğu hesaplarının gerçekleştirilmesinde kullanılan temel girdilerden bir tanesidir.

GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı uzayda ilerleyen gözlem uydularının çeşitli mimarilere sahip olan optik sistemlerinin perspektif merkez noktalarının yüksek doğrulukta bulunmasıdır. Yer gözlem uydularının sensör modellerinin oluşturulmasında perspektif merkez noktasının belirlenmesi, çeşitli başarımlar parametrelerinin ve görüntülerin elde edilmesinde büyük önem taşımaktadır. Bu parametre geometrik konumlama ve yersel konum doğruluğu hesaplarının gerçekleştirilmesinde kullanılan temel girdilerden bir tanesidir.

Literatürde, sensör modelleri için “Community Sensor Model” (CSM) gibi çeşitli standartlar kullanılmakta ve ilgili kaynaklar bulunmaktadır [CSMWG, 2007; NCGIS, 2009; Whiteside, 2004; Eckstein ve Durdall, 2019]. Sensör modelleri özellikle üç boyutlu yersel noktaların iki boyutlu görüntü noktalarına dönüşümünde kullanılır. Bu çalışmalarda süpürme genişliği (SW) içinde bulunan yersel bir noktadan görüntü düzlemine bir doğru çizilir. Bu doğrunun optik eksenini kestiği nokta perspektif merkezi noktasıdır. Bu noktanın odak düzlemine uzaklığı (PC) kamera sisteminin etkin odak uzaklığı (EFL) olarak tanımlanmıştır [Whiteside, 2004]. “National Center For Geospatial Intelligence” (NGA) standardlaştırma dokümanında, perspektif merkez noktası ile odak düzlemi mesafesinin etkin odak uzaklığına eşit olarak alındığı görülmektedir. Fakat katlamalı optikler içeren sistemlerde perspektif merkez noktasının uzamsal konumunun belirlenmesi oldukça karmaşıktır. Bizim çalışmamızda ise perspektif merkez noktasının konumunun ve uzunluğunun geometrik optik kullanılarak yüksek doğrulukta hesaplanması için yeni ve kolay anlaşılır bir yöntem sunuyoruz. Böylece standartlardaki tanımların daha net anlaşılmasını sağlayan veriler elde edebiliyoruz. Pleiades-HR optik sisteminin tam kapasiteye yakın kullanılması durumu ile güncel durum arasındaki farkın yersel konum doğruluğuna etkisinin hangi boyutta olduğunu nicel olarak ifade ediyoruz. Perspektif merkez noktasının hesabı için ortaya koyduğumuz bu yeni yöntem ve bu hesabın genel görüntü kalitesine etkisi

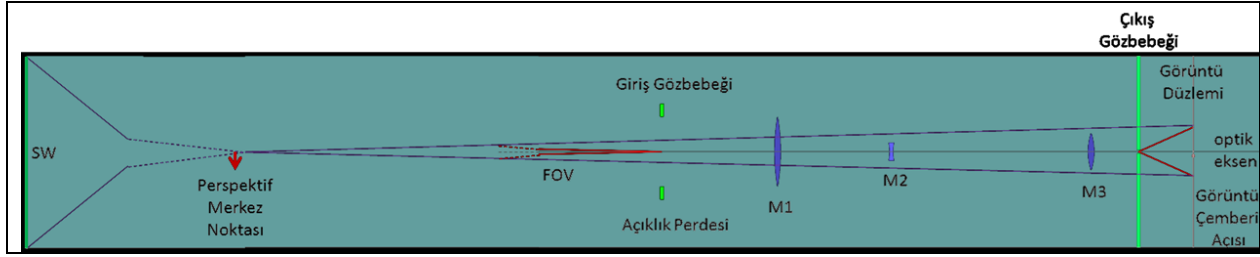
¹ Doç. Dr., Uzaktan Algılama Grubu, E-posta: kamil.alici@tubitak.gov.tr, * Başlıca yazar

bilgimiz dâhilinde literatürde bulunmamaktadır. Perspektif merkez noktasının doğru belirlenmesi fotogrametri çalışmalarında görüntünün yersel konum doğruluğunu doğrudan etkilemektedir. Görüntüleme çalışmalarındaki metrik doğruluk ve hassasiyet, görüntü verisinin konumlama uygulaması için veri kalitesini belirlemektedir. Bu çalışmalarda veriler kadar, veri kalitesi de önemlidir.

Bu makalede sensör tipi elektrooptik ve sensör görüntüleme modu doğrusal dizin olan, Pleiades-HR uydusuna odaklandık. Bu uydunun katlamalı Korsh tipi optik tasarımını, optik eksene göre simetrik, mercek tabanlı, birebir benzer bir optik sisteme dönüştürdük. Daha sonra görüntü çemberi içinde bulunan ve içine görüntü sensörleri yerleştirilebilen uç noktalardan, optik sistemin görüş açısı ile elde edilen süpürme genişliğinin uç noktalarına doğrular çizerek, perspektif merkez noktasını tespit ettik. Makalemizin ikinci bölümünde kullandığımız yöntemi açıklıyoruz, üçüncü bölümde uygulamalar ve değerlendirmeleri ele alıyoruz, sonuç bölümünde ise genel özeti takip eden ilerleyen dönemler için planladığımız çalışmalardan bahsediyoruz.

YÖNTEM

Pleiades uydusunun optik sistem mimarisi literatürde açıklanmıştır, fakat faydalı yükü niteleyen ana parametreler, örneğin etkin odak uzaklığı ($EFL = 12.905m$), optik açıklık çapı ($D = 65cm$) ve süpürme genişliği ($SW = 20km$) yaklaşık değerler ile verilmiştir[Gleyzes, Perret ve Kubik, 2012]. Bu makalemizdeki hesaplar için gerekli parametreler, literatürdeki diğer kaynaklardan alınan birtakım temel parametreler kullanılarak hesaplanmıştır[Lamard, Gaudin-Delrieu, Valentini, Renard veTournier, 2004]. Pleiades uydusu optik sisteminin birebir ölçekli çizimi, literatür verileri ve ilgili paket program simülasyonları kullanılarak çalışılır[ZEMAX, 2022]. Optik tasarımdaki aynaların konumları, birbirlerine göre mesafeleri ve eğiklik çapları ile ilgili bilgiler sağlanmıştır [Lamard, Gaudin-Delrieu, Valentini, Renard veTournier, 2004]. Bizim çalışmamızda, odak uzaklıkları ve birbirlerine göre uzaklıkları, aynalar ile aynı olan ince mercekler kullanıyoruz ve sistemi eş eksenli kırılım tabanlı hale çeviriyoruz. Optik sistemin analizi için geometrik paraksial ışın takip denklemleri, ince mercek denklemleri ve eksen dışı elemanların aynı eksende olan eşleniklerinin bulunması ile ilgili hesapları gerçekleştiriyoruz. Şekil 1'de bu optik tasarımın eksene göre simetrik, kırılım tabanlı, birebir benzeri, ölçekli olmayan biçimde gösterilmiştir[MATLAB, 2022]. Bu yapıda öncelikle giriş açıklığının, ondan önceki optik elemanlara göre görüntüsü alınmış ve giriş gözbebeği bulunmuştur. Daha sonra giriş açıklığının, ondan sonra gelen elemanlara göre, görüntü düzlemi yönünde, görüntüsü hesaplanmış ve çıkış gözbebeği bulunmuştur. Giriş gözbebeğinin merkezine doğru olan ışına paralel M1 merceği ile gözbebeği arasında dar bir açı yaparak ilerleyen ışının, optik eksen ile açısı artırılarak paraksial ışın takibi yapılmıştır. Bu şef ışının odak düzleminde yok olduğu nokta, görüntü çemberi yarıçapını vermekte, bu ışının eksen ile yaptığı açı, görüş alanı açısını (FOV) oluşturmaktadır. Görüntü sensörleri ideal durumda görüntü çemberi ve açıklık engelleri ile sınırları belirlenmiş görüntü dairesi içine yerleştirilir. Bütün sensörlerin genişliği dikkate alınarak yere izdüşüm yapıldığında, yerdeki veri alınan uydu süpürme genişliği (SW) elde edilir. Tek bir pikselden yere izdüşüm yapıldığında ise, yer örnekleme mesafesi (GSD) belirlenir.



Şekil 1: Pleiades Uydusu Kırılım Tabanlı Tasarım ve Parametrelerin Çıkarımı

Bu çalışmada elde etmeye çalıştığımız temel parametre ise, perspektif merkez noktası ve onun odak düzlemine uzaklığıdır (PC). Kenar pikseller ve süpürme genişliği kenarları arasında çizilen (Şekil-1) (mor renkli) doğrular ve bu doğruların optik eksenini kestiği noktalar dikkate alınarak, perspektif merkez noktasının, odak düzlemine uzaklığı bulunur. Hesaplamalarımızın akış diyagramı aşağıdaki Şekil-2'de verilmiştir.



Şekil 2: Perspektif merkez noktası ve uzunluğunun hesaplaması için akış diyagramı

Yinelemeli ışın takibi algoritmaları kullanarak çok yüksek hassasiyette görüş açısı (FOV) değerini elde edebilmekteyiz. İleri yönde hesaplamalar için öncelikle kırılım tabanlı optik sistemi oluşturuyoruz. Ayna odak uzaklıkları ve eğrilikleri ile uyumlu şekilde mercek kırınım indislerini ve geometrik şekillerinin oluşturuyoruz. Mercek ve açıklıklardan oluşan sistemde, paraksial ışın takibi denklemlerinden [DOD, 1962] faydalanarak, ilgili ışın için her bir mercekteki ışının konumunu, sistemin görüş açısını ve görüntü çemberi boyutunu çıktı olarak veren bilgisayar kodları kullanıyoruz [MATLAB, 2022]. Tarama yaparak ışının optik sistemdeki ilgili bileşenin uç noktasına varmasını sağlıyoruz. Pleiades-HR sisteminde bu bileşen M3 merceğidir. Bu uç noktadaki ışın açısı bize görüş açısını (FOV) verir. Bu görüş açısındaki görüntü düzlemindeki nokta ise bize görüntü çemberi çapını (D_{IC}) vermektedir. Görüntü çemberinin tamamının sensörler ile kullanıldığı yaklaşımla yere izdüşüm olarak uydu süpürme genişliğini şu denklem ile buluyoruz:

$$SW = 2 \times \tan(FOV/2) \times h \quad (1)$$

Bu hesaplamada uydu irtifası, h ile ifade edilmiştir. Perspektif merkez noktası ile odak düzlemi arası uzaklık (PC) ise şu denklem kullanılarak bulunur:

$$PC = \frac{D_{IC} \times h}{SW} \quad (2)$$

Görüntü kalitesi ve görüntüleme sistemi başarımının belirlenmesinde standart olarak Ulusal Görüntü Yorumlama Ölçeği (NIIRS) kullanılmaktadır [Leachtenauer, 1997]. Bu ölçek değerinin sistem parametrelerinden ve başarım ölçütlerinden bir denklem (General Image Quality Equation-GIQE) kullanılarak öngörülmesi de mümkündür [Leachtenauer, 1997]. Aşağıdaki denklemde $GIQE$ değerinin başarım ölçütlerinden hesaplanması için kullanılan formül verilmiştir:

$$GIQEv = 10.251 - \log_{10} GSD_{GM} + \log_{10} RER_{GM} - (0.656H) - (0.344 G/SNR) \quad (3)$$

Burada $GIQE$ denklem değeri $GIQE_v$, göreceli kenar yanıtı RER , görüntü restorasyon işlemi sonucu elde edilen H ve G değerleri, sinyal gürültü oranı SNR ve yer örnekleme mesafesi $GSD(inch)$ gibi başarımlı ölçütlerinden faydalanılmaktadır. a ve b katsayıları RER değerine bağlı olarak belirlenmiş sabitlerdir [Leachtenauer, 1997].

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Perspektif merkez noktasının bulunması ile konformal haritalama dönüşümleri kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Mevcut modelde perspektif merkez noktası ile odak düzlemi arasındaki mesafe $PC = 12.942 m$ olarak bulunmuştur. Bu değer Pleiades-HR için verilen etkin odak uzaklığı olan $EFL = 12.905 m$ 'den %0.29 kadar farklı olduğu görülmüştür. Bu farkın Pleiades uydusunda $M3$ aynasının kapasitesinin $R_3 = 203 mm$ kadarlık bir kısmının kullanıldığı, bizim modelimizdeki gibi tama yakın olan $R_3 = 207 mm$ 'lik mercek yarıçapının kullanılmamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu farkın başarımlı parametreleri üzerinde oluşturduğu etki aşağıdaki Tablo-1'de gösterilmiştir. Yersel örnekleme mesafesinde (GSD) bu fark $2 mm$ 'ye denk gelmektedir. Farklı teleskop tasarımlarında bu fark daha fazla da olabilir. Çok sayıda pikselden oluşan görüntü sensörleri ve odak düzlem ekipmanlarında, bu farkın etkisi eklenerek artacak ve yersel konum doğruluğu gibi başarımlı parametrelerinde de farklılıklara neden olacaktır. Şekil-2'de verilen akış diyagramında tersine ilerleyerek verilen etkin odak uzaklığı, $EFL = 12.905 m$, için hangi süpürme genişliği (SW) değerine sahip olmamız gerektiğini bulduk. Literatürde verilen $SW = 20 km$ değerinin aslında $SW = 20072 m$ olduğunu elde ettik.

Aşağıdaki Tablo-1'de Pleiades-HR sistem aynalarının tam kapasite kullanıldığı durum ile mevcut durumun karşılaştırmalı verilerini sunuyoruz. Verilen etkin odak uzaklığı (EFL) ve hesapladığımız perspektif merkez noktası (PC) değerlerini ve ilgili görüntü kalitesi parametresi öngörülerini raporluyoruz. Bu sunumdaki bazı başarımlı ölçütleri Pleiades-HR sisteminin literatürdeki raporlarından alınmıştır [Lamard, Gaudin-Delrieu, Valentini, Renard ve Tournier, 2004]. Görüldüğü gibi GSD değerindeki fark $GIQE$ değerinde %0.161-%0.082 arası bir farka denk gelmektedir. $GIQE$ değerleri etkin odak uzaklığı kullanılan durum ile yüksek başarımlı durum arasındaki oluşabilecek kalite farkını sunmaktadır.

Tablo-1: EFL ve PC Hesapları için Genel Görüntü Kalitesi Denklemi Değerleri

	GSD	SW	D_{IC}	RER	H	G	SNR	$GIQE$	$GIQE_{diff}$
EFL	700mm	20072m	372mm	0.2-1.3	1.9-0.9	19-1	114	2.443-5.053	%0.161-%0.082
PC	698mm	20470m	381mm					2.446-5.057	

SONUÇ

Bu çalışmada Korsh Tipi Pleiades-HR uydu kamerasının eksene göre simetrik kırılım tabanlı birebir geometrik optik benzeri oluşturularak perspektif merkez noktası yüksek doğrulukta bulunmuştur. Bu değer ile Pleiades-HR sistemi için verilen etkin odak uzaklığı arasında %0.29 kadar fark olduğu ve bu farkın $M3$ aynasının tam kapasite kullanılmaması kaynaklı olduğu bulunmuştur. Bu farkın yer örnekleme mesafesi (GSD) olarak oluşturduğu payı yaklaşık $h = 695 km$ irtifalı yörüngedeki Pleiades-HR uydusu için $2 mm$ 'dir. Genel görüntü kalitesi denklemi ($GIQE$) değerlerinde iki durum için %0.161 – %0.082 arası bir fark oluşacağı hesaplanmıştır. Bu çalışmanın, konformal haritalama yöntemleri ile geometrik konumlama ve hassas yersel konum doğruluğu çalışmaları ile sürdürülmesi planlanmaktadır.

ALINDI

Başlıca yazar (KBA), Türkiye Bilimler Akademisi, Üstün Başarılı Genç Bilim İnsanı Programı (TÜBA-GEBİP/2020) kapsamında desteklenmektedir.

Kaynaklar

- Community Sensor Model Working Group (CSMWG), *Community sensor model (CSM)*, 2007. Technical Requirements Document (TRD), Version 2.A Revision.
- Department of Defense (DOD), 1962. *Military Standardization Handbook, MIL-HDBK-141*.
- Eckstein, B. A., Durdall, J. P., 2019. *The spectral NITF implementation profile (SNIP): A new standard for multispectral and hyperspectral imagery datasets*, Joint Agency Commercial Imagery Evaluation (JACIE) Workshop.
- Gleyzes, M. A., Perret, L., Kubik, P., 2012. *Pleiades system architecture and main performances*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B1.
- Lamard, J., Gaudin-Delrieu, C., Valentini, D., Renard, C., Tournier, T., 2004. *Design of the high resolution optical instrument for the Pleiades*, International Conference on Space Optics—ICSO 2004
- Leachtenauer J., 1997. *General image-quality equation: GIQE*, Applied optics, Vol. 36, pp. 8322-8328, 1997.
- MATLAB (Image Processing Toolbox), 2022. www.mathworks.com
- National Center For Geospatial Intelligence Standards (NCGIS), 2009. *NGA standardization document, pushbroom/whiskbroom sensor model*, NGA.SIG.0003_1.0 2009-07-21.
- Whiteside, A., 2004. *Some image geometry models*, Open Geospatial Consortium Inc., OGC 04-071.
- ZEMAX, 2022. www.zemax.com