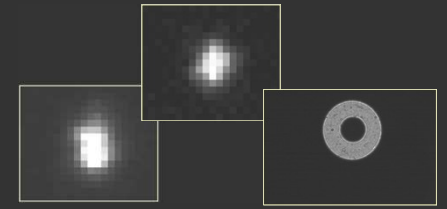


Suni Yıldız Düzeneği: LabStar

Tuncay Özışık¹, Altuğ Özışık²

- 1) Emekli Astronom (TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Antalya, TÜRKİYE)
- 2) Mekatronik Mühendisi (Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE)



AMAÇ

Astronomi ve uzay bilimlerinde kullanılan teleskoplar, CCD kameralar, tayfçekler, fotometreler, uydularla kullanılan yıldız takip sistemleri gibi gözlemsel donanımların geliştirilmesi veya test/ayar süreçlerinde nokta ışık kaynaklarına ihtiyaç duyulur. İdeal olan, donanımı gökyüzünde bir yıldız ile test etmek ve ayarlamaktır. Bunun için gece gökyüzü ve uygun hava şartlarına gerek duyulması, atmosferin bozucu etkisi gibi Ar-Ge sürecini olumsuz etkileyen faktörler yüzünden bu tür çalışmalarda yıldız simülörleri kullanılır. Literatüre bakıldığında, genellikle yıldız takip sistemlerine ait çalışmalarda kullanılan yazılımsal ya da hibrit (yazılım - donanım) simülörlere rastlanmaktadır (Şenil ve ark. 2021, Ardi ve ark. 2018). Donanımsal simülöre örnek olarak ötegezegenlerin polarimetresi konusundaki bir çalışma gösterilebilir (Jeffers ve ark. 2008). Bu çalışmada "m_r=0" olacak şekilde bir yıldız temsil eden fiber destekli bir nokta ışık kaynağı tasarlanmıştır. Diğer bir çalışmada ise, parlaklığı "m_r=0-5" arasında değiştirilebilen ve zemin parlaklığı da ayarlanabilen bir nokta ışık kaynağının olduğu karmaşık bir sistem geliştirilmiştir (Sun 2017).

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki (TUG) teleskoplar, CCD kameralar, astronomik görüş sistemleri gibi donanımlarla ilgili arıza / test / bakım çalışmalarını gökyüzünden ve zamandan bağımsız olarak kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilme ihtiyacı sonucunda bu fikir ortaya çıkmıştır. Önce sadece sabit parlaklıkta bir nokta ışık kaynağı olarak bir prototip hazırlanmış ve 20 cm açıklıklı bir teleskobun kolimasyon ayarı sırasında kullanılmıştır. Pratik olduğu görülen bu düzeneğe daha sonra, parlaklık kontrollü ve basit kullanımlı, "LabStar" adını verdiğimiz bir ürün haline getirilmiştir.

KALİBRASYON

LabStar'ın bilinen bir uzaklıktan ve belirli görünür parlaklıklardaki yıldızları temsil edebilmesi için aşağıda verilen iki aşamalı bir kalibrasyon işlemi gerekir.

- *Astronomik bir gözlem sistemi ile gerçek gökyüzünde çeşitli parlaklıklarda yıldız gözlemleri*
- *Aynı gözlem sistemi ve ayarları (açıklık, poz süresi, ASA vb) ile belirli bir uzaklıktaki LabStar gözlemleri*

Bu çalışmada kalibrasyon ve testler için Orion StarMax 102 EQ modeli Maksutov-Cassegrain teleskop (D: 102 mm, f/12.7) ve MaxIm DL yazılımı ile kontrol edilen Canon EOS 50D DSLR kamera kullanılmıştır. Görüntüler 2385x1589 piksel formatında ve 14-bit olarak kaydedilmiş, sadece "kara akım" düzeltilmesi uygulanmıştır. Görüntülenen alan 48'x32' ve görüntü ölçeği de 1.22"/piksel olmuştur. Kalibrasyonun ilk adımında Avcı ve Büyük Ayı takımyıldızları bölgesinden temiz ve ayız bir gecede, farklı parlaklıktaki yıldızların gözlemi yapılmış, SAO DS9 ile yapılan fotometrik analizlerle "Gökyüzü Grafiği" elde edilmiştir (sağda).

İkinci aşama için LabStar karanlık bir ortamda ve gözlem sisteminden 12 m uzağa yerleştirilmiştir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, kullanılan gözlem sisteminin ve ayarlarının (teleskop, CCD, poz süresi, ASA vb) ilk aşamada yapılan gece gözleminde olduğu gibi aynı şekilde muhafaza edilmesidir. Bu düzende adım adım belirli parlaklıklara ayarlanan LabStar'ın görüntüleri alınmış, analizler SAO DS9 programı ile yapılarak "LabStar Grafiği" elde edilmiştir (sağda).

Grafiklerdeki fit denklemlerinden aşağıdaki bağıntı elde edilerek pratik LabStar ayarı için bir Excel çalışma sayfası hazırlanmıştır.

$$\text{Volt} = 2.2119 \cdot (482875 \cdot \text{EXP}(-0.828 \cdot \text{mag})) \cdot 0.0133$$

TEST

LabStar'ın belirli bir uzaklıktan parlaklığı ayarlanabilen bir yıldız gibi ışık yayabildiğini göstermek için iki farklı test yapılabilir.

- Farklı kalibrasyon düzeneğinde aynı uzaklıklardaki LabStar ayarlarının karşılaştırılması.
- Belirli bir kalibrasyon düzeneğindeki LabStar gözlemiyle gökyüzü gözleminin fotometrik olarak karşılaştırılması.

Bu algoritmalar için 50 mm, f/1.8-16 bir objektif ve RPI V2 CCD kameralı başka bir düzeneğe hazırlanmıştır. Değişmiş olan objektif/CCD ayarlarında (odak oranı, poz süresi vb) gökyüzü ve 2 m uzaklıktaki LabStar gözlemleriyle kalibrasyonun 1. ve 2. aşamaları tekrarlanmıştır. Aynı bir LabStar uzaktığında; farklı kalibrasyon setlerine ait LabStar ayarlarının aynı bir görünür parlaklık için aynı kaldığı görülmüştür (sağda).

Fotometrik olarak LabStar testi için, aynı bir kalibrasyon setinde önce bir gökyüzü gözlemine ait görüntüdeki birkaç yıldızın uygun bir yazılım ile fotometrisi yapılmıştır. Aynı yazılıma bu sefer aynı kalibrasyon setine ait herhangi bir LabStar görüntüsü yüklenmiş ve aynı fotometri ayarları ile LabStar'ın ürettiği görüntüye ait parlaklık değeri ölçülmüştür. Bu parlaklığın kullanıldığı bağıntının verdiği LabStar gerilim değeri ile LabStar gözlemine ait ayar geriliminin birbiri ile aynı olduğu görülmüştür (sağda).



LabStar Düzeneği

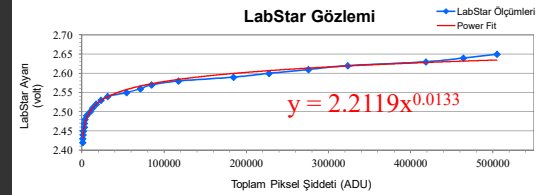
LabStar'ın Özellikleri

Model	Işık Kaynağı	f/0 Tipi	Besleme Voltajı	Temsil Yıldız Parlaklığı**
LabStar-L	Led*	ST, 50/125, MM	0-3.5 V DC	-0.5 ^m - +7.5 ^m
LabStar-B	Mini Ampul**	ST, 50/125, MM	0-12 V AC/DC	-

* "Straw Hat" Süper Parlak 5 mm Led, 6000-6500 K

** Mini tip, 3 mm çap, 12 V, 30 mA

*** LabStar uzaklığı: 12 m



Çeşitli görsel parlaklıklardaki yıldız gözlemlerinin (üstte) ve LabStar gözlemlerinin (altta) grafikleri. Her iki gözlemede Orion StarMax EQ teleskop, Canon EOS 50D kamera, 100 ASA ve 0.7 sn poz süresi kullanılmış, LabStar teleskoptan 12 m uzağa yerleştirilmiştir.

TEST ÖRNEKLERİ

SET 1	SET 2
50 mm, f8 objektif, Rpi V2 CCD kamera 5 sn poz, 2 m LabStar uzaklığı	50 mm, f4 objektif, Rpi V2 CCD kamera 0.75 sn poz, 2 m LabStar uzaklığı

Farklı kalibrasyon setleri, aynı parlaklıklara karşılık aynı LabStar ayarları

	Görünür Parlaklık	LabStar (2 m uzaklık)
SET 1	3 ^m	2.45 V
	0 ^m	2.38 V
SET 2	0 ^m	2.45 V
	0 ^m	2.38 V

Aynı bir kalibrasyon seti için fotometrik karşılaştırma

Maxim DL	→	set3-dubhe.fit → Aperture Photometry → Mag. Calib.: 1.81 ^m
Maxim DL	→	set3-2.51V.fit → Aperture Photometry → Magnitude: 4.26 ^m
Excel	→	4.26 → LabStar Ayarı: 2.51 Volt
Maxim DL	→	set1-SAO132406.fit → Aperture Photometry → Mag. Calib: 3.77 ^m
Maxim DL	→	set1-2.45V.fit → Aperture Photometry → Magnitude: 2.92 ^m
Excel	→	2.92 → LabStar Ayarı: 2.45 Volt

YAPISI

Bir optik sistem ve odağına yerleştirilmiş bir görüntüleme/foton sayma alicısı ile algılanabilen ve parlaklığı hassas olarak kontrol edilebilen bir ışık kaynağıdır, belirli bir uzaklıktan yıldız gibi bir nokta ışık kaynağını gerçekçi bir şekilde temsil edebilmesi ve kullanımının da yeterince pratik olması bu çalışmanın ana hedefi olmuş, tasarımı buna göre gerçekleştirilmiştir.

LabStar, temel olarak çıkış voltajı çok hassas ve kararlı bir şekilde (± 0.01 V DC) ayarlanabilen, programlanabilir bir Sayısal Güç Kaynağı (Digital Power Supply - DPS) ve içinde bir mini ışık kaynağının beslediği fiber-optik (f/0) bir kablolu olduğu bir başlıktan oluşmaktadır. Işık kaynağı olarak parlak led veya mini ampuller kullanılabilir. Mini ampul kullanılması durumunda ışık yayan filamentin zamanla ısınması dolayısıyla ışığın çok kararlı olmadığı görülmüş ve sadece noktasal ışık kaynağı şeklinde kullanılacağı anlaşılmıştır (Model B). Hassas ve kararlı bir şekilde parlaklığı kontrol edilebilen tasarımda ise parlak led kullanılmıştır (Model L). Programlanabilen DPS sabit akım ve sabit gerilim verebilme özelliğine sahip olduğundan, doğrudan beslendiğinde parlaklığı değiştirilemeyen bir led'in parlaklığını geniş bir aralıkta olmak üzere hassas bir şekilde değiştirebilir ve kararlı tutabilir. Işığı taşıyan ve yayan malzeme olarak bilgisayar ağlarının bağlantılarında kullanılan seramik başlıklı "f/0 patch" kullanılmıştır. Işığın çıktığı son fiber noktasının (cladding) çapı 125 mikrondur ve kullanımında tercih edilen 12 m'lik LabStar uzaktındaki açıl çapı 2.15" dir. Kapalı bir sistem olan LabStar başlığı ile DPS kutulaması ise bilgisayarda tasarlanarak 3-Boyutlu yazıcıda basılmıştır. Üretilen iki farklı model LabStar'a ait teknik özellikler soldaki tabloda verilmiştir.

SONUÇLAR

İki farklı test algoritmasının gösterdikleri ve diğer testlerle birlikte LabStar için aşağıdaki sonuçlar verilebilir:

- LabStar, çalışılacak astronomik gözlem sisteminden belirli bir uzaklıktan görünür parlaklığı ayarlanabilen bir yıldız ışığını temsil edebilmiştir. 2 m ve 12 m uzaklıklara yerleştirilmiş LabStar-L modeli ürün çeşitli gözlem sistemleri ile başarılı bir şekilde test edilmiştir.

- Kalibrasyon için farklı parlaklıklarda çok sayıda yıldızın gözlenmesi ile LabStar'ın doğruluğu ve temsil edebileceği yıldız parlaklık aralığı artırılmıştır. Bu çalışmada test edilen LabStar-L -0.5^m ile +7.5^m aralığındaki yıldızları temsil edebilmiştir.

- Kullanılan sayısal güç kaynağının ayar kabiliyeti (± 0.01 V) LabStar'ın "kadiri" hassasiyetini belirlemiş ve doğruluğu $\pm 0.35^m$ olarak hesaplanmıştır.

- Piyasada bulunabilecek malzemelerle ve oldukça ekonomik bir maliyetle üretebilecek LabStar'ın kalibrasyonu bir kere dikkatlice yapıldıktan sonra kullanımı kolay ve güvenilirdir.

- LabStar şimdiye kadar çeşitli çaplarda birkaç seyir teleskobun optik kolimasyon ayarında, TUG Astronomik Görüş Sistemi'nin⁴ test ve ayarında, TUG Alta U47 CCD pozlayıcısının (shutter) oranımında ve çeşitli TUG CCD'lerinin testlerinde başarıyla kullanılmıştır.

- Astronomik donanımlara ait arıza/bakım/test süreçlerinde zamandan ve açık bir gökyüzünden bağımsız olarak LabStar ile çalışabilmek önemli bir avantaj olarak gözükmektedir.

⁴ <https://www.alcor-system.com/new/SeeingMoni/Cyclope.html>

KAYNAKLAR

Ardi, N.S., Saifudin, M.A., Poetro, R.E., and Fathurohman, L., *Development of star image simulator for star sensor algorithm validation*, 6th International Seminar of Aerospace Science and Technology, IOP Conf. Series, Journal of Physics: Conf. Series, 1130, 2018.

Jeffers, S.V., Miesen, N., Rodenhuis, M. and Keller, C.U., *Design of a laboratory simulator to test exoplanet imaging polarimetry*, Proc. of SPIE, The International Society for Optical Engineering, Vol. 7014, August 2008.

Şenil, N., Stambouli, O.B. *Star Simulator Design for Star Tracker Development*, 11th Ankara International Aerospace Conference, 8-10 Sep. 2021.

Sun, G., Liu, S., Zhang, G., Zhang, Y., Lei J., Ma, Y., *A Light Source System of Multi-star Simulator with Adjustable Background and Controllable Magnitude*, Chin. J. Space Sci., Vol. 37 (6), 2017.