بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

همراستا سازی خودکار قطعات در چیدمان‌های اپتیکی به روش پردازش تصویر با استفاده از نرم افزار لب-ویو

سمانه حامدی*، محمدهادی قربانی و زهیر کردرستمی
دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران
hamedi@sutech.ac.ir

چکیده – همرا ستا بودن قطعات اپتومکانیکی در چیدمان های اپتیکی برروی دقت اندازه‌گیری تاثیر دارد. در این مقاله یک چیدمان اپتیکی ساده و ارزان برای همرا ستا سازی خودکار قطعات حسگر ستاره نصب شده بر روی ماهواره‌ها پیشنهاد شده ا ست. در چیدمان اپتیکی پی شنهادی با ا ستفاده از پردازش ت صویر در نرم افزار لب- ویو به قطعه‌ای که بر روی سکوی موتورایز ن صب ا ست فرمان داده شده و با چرخش قطعه به صورت خودکار همرا ستا می شود. محدودیت دقت اندازه‌گیری به موتور ا ستفاده شده وابسته است. در این کار دقت همراستاسازی هر قطعه با سه درجه آزادی در حد صدم درجه و تکرارپذیر است.

کلید واژه- همراستاسازی، اپتومکانیک، پردازش تصویر، لب-ویو

Auto Alignment of **Devices in Optical Setups Using Image Processing Technique in Lab-View**

Samaneh Hamedi*, Mohammad Hadi Ghorbani and Zoheir Kordrostami
Electrical and Electronic Department of Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran
(hamedi@sutech.ac.ir)

Abstract- The alignment of opto-mechanical components in the optical setups affects the measurement accuracy. In this paper we describe a low cost auto-alignment of star tracker components mounted on the satellite. In **t**he presented optical setup, the components on the motorized optical mount will be auto aligned using image processing in Lab-view software. The accuracy of the measurement is related to the motorized optical mount. In this work, the accuracy of alignment in 3 directions is 0.01 degree and repeatable.

Keywords: alignment, optomechanics, image processing, Lab-View

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

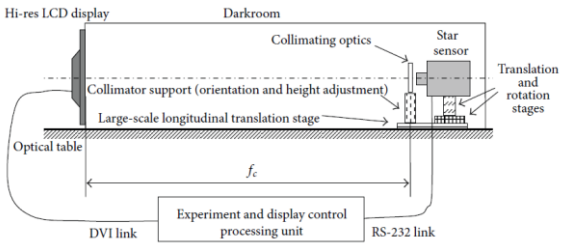
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

مقدمه

حسگر ستاره، سامانه‌ای به منظور تعیین موقعیت ماهواره در فضا با استفاده از نقشه ستارگان می‌باشد. این حسگر از ستارگان آسمان تصویربرداری می‌کند و با استفاده از نقشه آنها ماهواره موقعیت خود را پیدا می‌کند. قبل از استفاده از حسگر باید با استفاده از تصاویر مشابه ستارگان واقعی بر روی زمین آزمایش شود[۱, ۲]. این‌کار معمولا در چیدمان-های شبیه‌ساز حسگر ستاره که برای آزمایش حسگر به کار می رود استفاده می‌شود[۱-۴]. همراستا بودن قطعات با دقت زیاد امری بسیار مهم است. روش های زیادی برای این کار وجود دارد که به صورت دستی و خودکار انجام می شود[۵-۷]. در روشهای همراستاسازی موجود تجهیزات اپتیکی زیادی نیاز دارد. در این مقاله یک روش به صورت خودکار و بر روی نرم افزار لب-ویو پیاده‌سازی شده است. از ویژگی‌های این روش علاوه بر سرعت بخشیدن به همراستا سازی، دقت خوب و کاهش تعداد قطعات اپتومکانیکی استفاده شده است. در این کار علاوه بر چک کردن همراستایی به صورت اتوماتیک، منجر به همراستا شدن قطعات نیز خواهد شد. چون در همراستا سازی دستی با چشم انجام می‌شود دقت پایین دارد. در ضمن روش ارئه شده در این پژوهش بر روی همه چیدمان‌های اپتیکی قابل استفاده است.

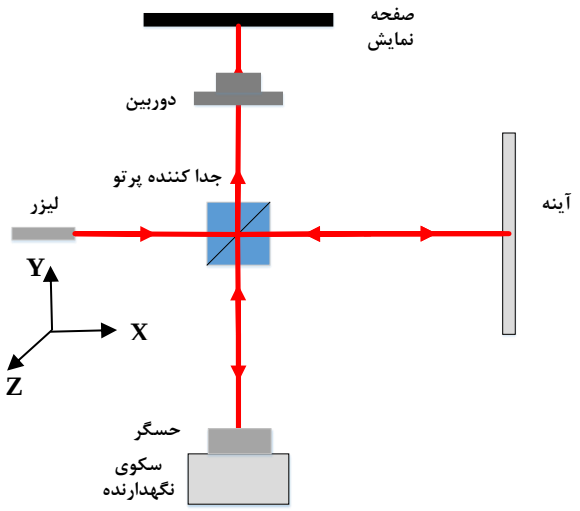
روش انجام همراستاسازی خودکار قطعات

در در شکل (۱) چیدمان اپتیکی برای آزمایش حسگر ستاره نشان داده شده است[۱]. قطعات اپتیکی استفاده شده شامل



شکل ۱: چیدمان اپتیکی بستر تست حسگر ستاره [۱]

دوربین حسگر که بر روی یک سکوی چرخشی قابل تنظیم نصب شده، موازی ساز و صفحه نمایش است. برای اندازه-گیری دقیق موقعیت ماهواره با استفاده از حسگر، قطعات اپتیکی باید در یک زاویه منحصر به فرد و دقیق تنظیم شده باشند. برای همراستا کردن نیاز به یک چیدمان اپتیکی است که همراستایی قطعات را نسبت به هم به صورت دقیق مشخص کند. چیدمان آزمایشگاهی طراحی شده در این مقاله برای همراستاسازی خودکار قطعات اپتیکی در شکل (۲) نشان داده شده است. این ساختار شامل سه بخش اصلی منبع نور لیزر، شکافنده پرتو و سکوی نگهدارنده حسگر است. در این کار موازی‌ساز، حسگر و صفحه نمایش باید با دقت زیادی در راستای یکدیگر تنظیم شوند. ابتدا قطعات از نظر ارتفاع در راستای یکدیگر تنظیم شدند.



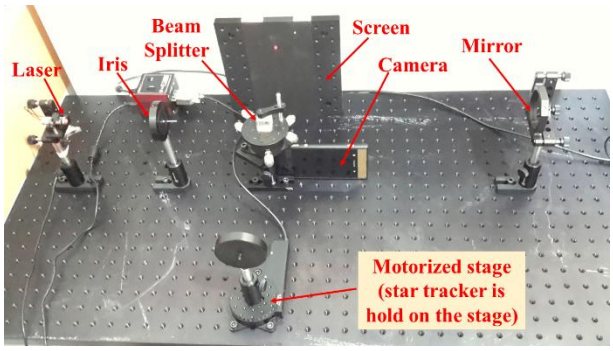
شکل ۲: چیدمان همراستاسازی خودکار قطعات اپتیکی طراحی شده

در این کار ارتفاع لیزر به عنوان مرجع در نظر گرفته شد و از روش نور بازگشتی استفاده شده است. پس از قرارگیری کلیه قطعات در ارتفاع مناسب برای اندازه‌گیری جابه‌جایی قطعات اپتیکی در راستاهای x و y از روش خودکار استفاده شده است. صفحه نمایش در یک ارتفاع مشخص ثابت درنظر گرفته شده و بقیه قطعات به ترتیب از آخرین قطعه و سپس قطعات میانی با آن تنظیم شدند. نور لیزر قرمز پس از عبور از جداکننده پرتو به دو بخش مساوی تقسیم می‌شود. نیمی

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

از آن به صفحه نمایش برخورد می‌کند که به عنوان تصویر مبنا است. بخش دیگر پرتو نیز به آینه برخورد کرده و پس از بازگشت با عبور دوباره از جداکننده پرتو به حسگر برخورد کرده و به عنوان تصویر اندازه‌گیری به صفحه نمایش تابیده می‌شود. در همراستاسازی دستی، آنالیز دو پرتو تشکیل شده بر روی صفحه نمایش به صورت چشمی و جابه‌جاکردن قطعه نیز دستی انجام می‌شود که دقت کافی وجود ندارد. در این ساختار به جای مشاهده تصویر به صورت چشمی، مانند شکل (۳)، با استفاده از دوربین که بین جداکننده پرتو و صفحه نمایش قرار دارد از نور لیزر روی صفحه نمایش تصویر گرفته شده و به نرم‌افزار لب-ویو ارسال می‌شود. در صورتیکه قطعات همراستا نباشند تصویر نور برگشتی از قطعه دقیقا منطبق با نور مبنا نخواهد بود. در صورت انحراف و جابه‌جایی مکانی در هر کدام از قطعات اپتیکی دو پرتو از هم فاصله پیدا می‌کنند. به منظور افزایش دقت اندازه-گیری موقعیت دو پرتو تشکیل شده بر روی صفحه نمایش، از روش آنالیز پرتو با استفاده پردازش تصویر استفاده شده است. قطعه اپتیکی بر روی یک سکوی موتورایز (motorized stage) دورانی قرار گرفته است که برای تنظیم پرتو در راستای x و y با دقت صدم درجه چرخش می‌یابد. میزان جابه‌جایی قطعه با استفاده از روش پردازش تصویر به روش مرکزیابی محاسبه شده و از طریق نرم‌افزار به قطعه نصب شده بر روی صفحه موتورایز فرمان چرخش ارسال می‌شود. با توجه به فاصله بین دو تصویر نور لیزر دریافتی میزان جابجایی قطعه محاسبه می‌شود و به میزان لازم



شکل ۳: تصویر چیدمان آزمایشگاهی برای همراستاسازی خودکار قطعات

صفحه موتورایز چرخیده و در راستای قطعه ثابت قرار خواهد گرفت. اندازه‌گیری موقعیت دو پرتو و فرمان جابجایی در نرافزار لب-ویو انجام شده است. تصاویر نقاط دریافتی از دوربین و انجام مراحل همراستاسازی طبق الگوریتم ارائه شده در شکل (۴) انجام می‌شود.

الگوریتم استفاده شده برای همراستا سازی شامل مراحل زیر است:

۱.ابتدا تصویر دو نقطه از دوربین دریافت می‌شود.

۲. مختصات مرکز نقاط روی صفحه را پیدا کرده و فاصله آن ها ذخیره می‌شود.

۳. موتور ابتدا به اندازه ی $\Delta\theta$ حرکت می کند که این مقدار در ابتدا به صورت دلخواه به آن داده می شود. با این حرکت نقطه ی متحرک نیز به اندازه ی $x\Delta$ حرکت می کند. سپس یک نسبتی از اندازه‌ی چرخش موتور و اندازه حرکت نقطه روی صفحه بدست می‌آید که با استفاده از آن اندازه حرکت های بعدی بدست خواهد آمد. اندازه ی حرکت های بعدی نصف فاصله ی دو نقطه می‌باشد که از رابطه (۱) بدست آمده است.

$$\Delta\theta_n = \frac{\Delta\theta}{\Delta x} \times \frac{\Delta x_n}{2} \qquad (۱)$$

که Δx_n فاصله دو نقطه در هر مرحله است. در هر مرحله به اندازه ی نصف فاصله دو نقطه موتور حرکت می کند. این روند تا جایی ادامه دارد که اندازه ی حرکت بدست آمده در رابطه (۱) بزرگ‌تر از دو برابر کمترین مقدار چرخش موتور باشد و از آن پس موتور با کمترین مقدار قابل چرخش خود حرکت می کند.

۴. نقاط اندک اندک به یکدیگر نزدیک می شوند تا اینکه با هم مماس شوند. شکل (۱-۴)

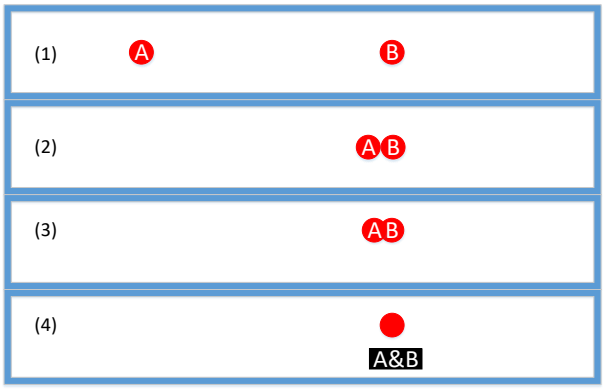
۵. وقتی دو نقطه مماس شدند موقعیت موتور ذخیره می شود و از آن پس موتور با کوچک ترین گام خود به حرکت ادامه می دهد. شکل (۲-۴)

۶. به محض اینکه که دو نقطه از طرف دیگر از یکدیگر جدا شدند موقعیت موتور ذخیره می شود. شکل (۳-۴)

۷.نرم‌افزار به موتور دستور می‌دهد که به میانگین دو موقعیت ذخیره شده برود. (میانگین دو موقعیت ذخیره شده

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

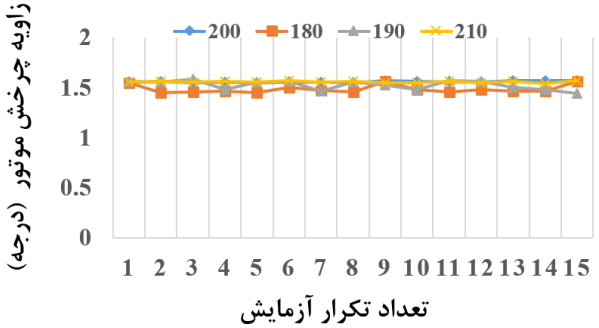
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]



شکل ۴: تصاویر تشکیل شده بر روی صفحه نمایش

جایی است که دو نقطه روی هم قرار گرفتند.) سپس یک پیغام ارسال می‌شود که پس از حرکت موتور برنامه متوقف شود. شکل (۴-۴)

برای اطمینان از دقت آزمایش و تکرارپذیری آن نمودار زاویه چرخش موتور بر حسب تعداد دفعات تکرار آزمایش در شکل (۵) رسم شده است. برای آنالیز تصویر نور لیزر دریافتی پیکسل هایی که شدت نور آن‌ها بالاتر از یک مقدار مشخص مانند ۱۸۰، ۱۹۰،۲۰۰ و۲۱۰ می‌باشند جدا شده تا پراکندگی های نور تاثیری بر روی دقت اندازه‌گیری نداشته باشد. نمودار شکل (۵) به ازای چند مقدار مختلف حاصل آزمایش را نشان می دهد. با توجه به نمودار رسم شده پراکندگی و تغییرات زاویه چرخش مدار کمتر از ۰/۵ درجه است.



شکل ۵: نمودار پراکندگی تصاویر تشکیل شده بر روی صفحه نمایش

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک چیدمان اپتیکی ساده، ارزان و سریع برای همراستاسازی خودکار قطعات بستر تست حسگر ستاره در روی زمین قبل از نصب بروی ماهواره ارائه شد. با استفاده از پردازش تصویر در نرم افزار لب- ویو به قطعه‌ای که بر روی سکوی موتورایز نصب است فرمان داده شده و با چرخش قطعه به صورت خودکار همراستا می‌شود. دقت همراستاسازی وابسته به موتور استفاده شده در حد صدم درجه است. همچنین روش ارائه شده برای همراستا سازی همه چیدمان‌های اپتیکی قابل ارائه است.

سپاسگزاری

از پژوهشکده مکانیک شیراز وابسته به پژوهشگاه فضایی ایران به دلیل در اختیار قرار دادن برخی قطعات اپتومکانیکی موردنیاز و اجازه انجام تست در آزمایشگاه مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

مرجع‌ها

[۱] G. Rufino, D. Accardo, M. Grassi, G. Fasano, A. Renga, and U. Tancredi, "Real-time hardware-in-the-loop tests of star tracker algorithms," *International Journal of Aerospace Engineering*, vol 2013. 2013.

[۲] M. A. Samaan, S. R. Steffes, and S. Theil" ,Star tracker real-time hardware in the loop testing using optical star simulator," *Spaceflight Mechanics*, vol. 140, 2011.

[۳] T. Paulsen and L. Maresi, "Calibration and verification of the TERMA star tracker for the NEMO satellite," in *Space 2000 Conference and Exposition*, p. 5338, 2000.

[٤] Y. Yang and X. Cao, "Design and development of the small satellite attitude control system simulator," in *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit*, p. 6124, 2006.

[٥] D. Kopon *et al.*, "Pathfinder first light: alignment, calibration, and commissioning of the LINC-NIRVANA ground-layer adaptive optics subsystem," in *Adaptive Optics Systems IV: International Society for Optics and Photonics*, vol. 9148, p. 914828 , 2014.

[٦] S. Priya *et al.*, "Method in vacuum to align and bond precision opto-mechanical components required for space applications," *International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT)*, no. 19, 2019.

[۷] H. Thiele *et al.*, "Opto-mechanical alignment results of the Euclid near infrared spectro-photometer optical assembly NI-OA," in *International Conference on Space Optics—ICSO*, vol. 11180, p. 111802V, 2019.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]