

# الگوریتم‌های تشخیص میزان فوکوس تصاویر نجومی

حلال‌زاده، آتاناز؛ فدوی حسینی، کوش؛ شاکری، سروش

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

## چکیده

تمیز دادن تصاویر فوکوس از تصاویر محو در پردازش داده‌های نجومی، به‌ویژه هنگام مواجهه با حجم و تعداد بالای تصاویر، از اهمیت بسزایی برخوردار است. این فرآیند پیش‌نیازی حیاتی برای توسعه سیستم‌های فوکوس خودکار در تلسکوپ‌ها محسوب می‌شود. پروژه‌ی حاضر با بهره‌گیری از داده‌های اخذشده توسط تلسکوپ Meade LX200 در دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان، به ارزیابی روش‌های متداول پردازش تصویر برای تعیین میزان فوکوس در تصاویر رصدی از سیاره‌ی مشتری می‌پردازد. در این مطالعه، دو روش مبتنی بر تبدیل سریع فوریه (FFT) و عملگر لاپلاسی به‌منظور کمی‌سازی وضوح تصویر و تشخیص محوشدگی بررسی شده‌اند. روش FFT با تحلیل توزیع فرکانس‌های بالا، که نشان‌دهنده جزئیات ریز هستند، و روش لاپلاسی با تأکید بر تغییرات شدت لبه‌ها، به‌عنوان معیارهایی برای تمیز داده‌های فوکوس از دیگر داده‌ها مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

واژگان کلیدی: کمی‌سازی فوکوس، تشخیص لبه، لاپلاسی، تبدیل فوریه سریع، متریک وضوح تصویر

## Focus-Based Distinguishing Algorithms for Astronomical Images

Atanaz, Halalzadeh ; Fadavi Hosseini, Kowsar ; Soroush, Shakeri

Department of Physics, Isfahan University of Technology, Isfahan

## Abstract

*Distinguishing focused images from blurry ones in astronomical data processing, especially when dealing with a large number of images, is of great importance. This process is considered a vital prerequisite for the development of autofocus systems in telescopes. The current project, utilizing data acquired by the Meade LX200 telescope at the Physics Department of Isfahan University of Technology, evaluates common image processing methods for determining a metric for blur detection in astronomical images of the planet Jupiter. In this study, the Fast Fourier Transform (FFT) and the Laplacian operator have been examined for quantifying image sharpness and detecting blurriness. The FFT method, by analyzing the distribution of high frequencies that indicate fine details, and the Laplacian method, by emphasizing intensity changes at edges, have been tested as criteria for distinguishing focused data from blurry data.*

**Keywords:** Focus measurement, Edge detection, Blur detection, Image sharpness metric, FFT, Laplacian

## مقدمه

فوکوسر تنظیم می‌شود تا صفحه فوکوس با آشکارساز یا عدسی چشمی هم‌راستا شود.

عوامل مختلفی می‌توانند روی فوکوس تصاویر نجومی تأثیر بگذارند، که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

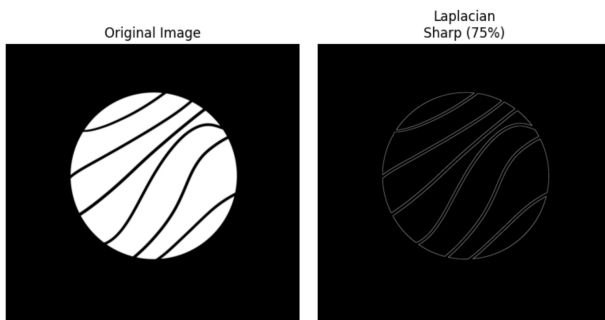
پارامتر دید (Seeing)، نقص سیستم اپتیکی، ناهنجاری‌های نوری مانند ابیراهی کروی (Spherical Aberration)، تغییرات حرارتی که می‌تواند باعث تغییرات طولی ساختار تلسکوپ شود، ناپایداری مکانیکی و ناهم‌ترازی آشکارساز با عدسی [۲]. بررسی فوکوس و کمی‌سازی آن، نه تنها در بررسی داده‌های رصدی کاربرد دارد بلکه در دیگر تحلیل‌های وابسته به تصویر مانند تصویربرداری پزشکی

فوکوس در تلسکوپ‌ها زمانی رخ می‌دهد که پرتوهای نور از یک شیء در دور دست، توسط سیستم نوری تلسکوپ (مانند آینه‌ها یا لنزها)، دقیقاً در یک نقطه در صفحه کانونی (که معمولاً آشکارساز آنجا قرار می‌گیرد) همگرا شوند و تصویری واضح و مشخص تولید کنند. این حالت با تنظیم فوکوسر تلسکوپ، که معمولاً شامل جابجایی عدسی یا آینه اصلی است، به دست می‌آید [۱]. برای تلسکوپ‌هایی مانند Meade LX200، که از طراحی اشمیت-کاسگرین استفاده می‌کنند، کانونی‌شدن با جابجایی آینه اولیه یا

پس از اعمال این اپراتور، با محاسبه‌ی واریانس تصویر، معیاری برای سنجش وضوح تصویر خواهیم داشت.

$$var(\nabla^2 I) = \text{معیار فوکوس}$$

در شکل زیر می‌توان تاثیر اعمال این عملگر بر تصویر را مشاهده کرد:



شکل ۱: تصویر سمت راست، پس از اعمال اپراتور لاپلاسی بر تصویر سمت چپ بدست آمده. در تصویر راست (لاپلاسی) تمام لبه‌های تصویر قابل مشاهده است و تصویر ۷۵ درصد فوکوس تشخیص داده شده.

کارکرد درست این روش وابسته به اندازه‌ی تصویر است، بنابراین با اضافه کردن توابعی به کد لاپلاسی باید نتایج این عملگر را مستقل از اندازه‌ی تصویر محاسبه کرد.

به علاوه اینکه در تصویر اجسامی که لبه‌ای دایره‌ای و کمی محو دارند (تصاویر رصد مشتری)، این عملگر نتایج نادقیقی را گزارش می‌دهد. برای رفع این مشکل از عملگر گرادینان که براساس مشتق اول شدت در پیکسل‌هاست استفاده می‌کنیم تا با قطعیت بالاتری میزان وضوح لبه‌های تصویر را مشخص کنیم.

نکته‌ی کارآمد دیگر برای تشخیص تصاویری با محوشدگی جزئی، استفاده از یک حد بالا است. مقدار این عدد برای تصاویر غیر نجومی در بازه‌ی ۳ تا ۱۰ تعیین می‌شود اما برای داده‌های نجومی باید مقدار حدبالا را در فرآیند بررسی اولیه‌ی داده‌ها و برچسب‌زدن به آنها مشخص کرد.

نتیجه‌ی اعمال اپراتور لاپلاسی بر تصاویر سیاره‌ی مشتری: دو سری تصویر پیش‌رو (شکل ۲ و ۳) از داده‌های رصدی سیاره‌ی مشتری هستند که عکس اول به نسبت فوکوس‌تر و شارپ‌تر از عکس دوم است، انتظار داریم مقدار اندازه‌گیری‌شده واریانس لاپلاسی برای عکس اول بیشتر از عکس دوم باشد و شارپ‌بودن تصویر را نشان دهد.

یا استفاده از داده‌های تصویری میکروسکوپ‌ها نیز مورد اهمیت است. محاسبه متریک یکی از روش‌های شناخته شده برای تعیین میزان کانونی‌شدن و تغییر اتوماتیک دستگاه است به صورتی که تصویر در بیشترین وضوح ممکن تشکیل شود. بدین منظور روش‌های متعددی به کار گرفته می‌شود تا در سریع‌ترین زمان و بدون نیاز به پردازش اولیه داده‌ها (مانند کالیبره کردن یا حذف کامل نویز) محاسبه‌ای برای میزان تاری تصویر انجام شود، سپس با جابه‌جایی اجزای مرتبط با فوکوس این محاسبه بارها تکرار می‌شود به گونه‌ای که عدد به دست آمده در هر گام و با تغییر مکان سخت‌افزار (که می‌تواند اپتیکی یا غیر اپتیکی باشد) بهینه شود. متدهای مورد استفاده به نوع داده‌ها وابسته است. دو مورد از مرسوم‌ترین روش‌های پردازش داده‌های تصویری به هدف کمی‌سازی وضوح تصاویر، الگوریتم‌های لاپلاسی و FFT هستند که برای تصاویر غیر رصدی به صورت گسترده به کار می‌روند.

در پژوهش حاضر تلاش شده است که ضمن تهیه داده‌های اختصاصی برای بررسی فوکس به واسطه رصد سیاره مشتری، الگوریتم‌های مرسوم پردازش تصویر برای تعیین وضوح برای تحلیل فایل‌های fits به کار گرفته شود. این تصاویر اختصاصی

توسط تلسکوپ ۱۲ اینچ Meade Lx200 با سنسور ZWO asi120MM تهیه شده‌اند که در شب رصدی مذکور، مقیاس صفحه ۰.۳ ثانیه قوسی بر پیکسل و پارامتر دید حدود ۲ ثانیه قوسی بوده است. برای درک بهتر کارکرد عملگرها، ابتدا نتایج اعمال آنها بر تصاویری طراحی شده و غیر رصدی مطالعه و سپس برای تحلیل داده‌های رصدی واقعی از آنها استفاده شده است.

### عملگرهای تشخیص میزان فوکوس:

در ادامه به بررسی دقیق‌تر عملکرد الگوریتم‌ها و نتایج استفاده از آنها بر داده‌های مختلف پرداخته می‌شود.

عملگر لاپلاسی [۶]: این ابزار به‌طور گسترده در پردازش تصویر و در جهت برجسته‌سازی نواحی با تغییرات شدید شدت روشنایی، مانند لبه‌ها و جزئیات ریز، به کار گرفته می‌شود. همچنین روش مؤثری برای کمی‌سازی میزان وضوح تصویر است، و دقیقاً به همین دلیل در این پروژه از آن استفاده شده. با اعمال عملگر لاپلاسی، مؤلفه‌های فرکانس بالای تصویر استخراج شده و واریانس حاصل از لاپلاسی به عنوان معیاری برای تعیین میزان وضوح تصویر در نظر گرفته می‌شود؛ به گونه‌ای که افزایش این واریانس نشان‌دهنده تصویری با فوکوس بهتر است. لاپلاسی در یک پیکسل خاص به این معناست که مجموع شدت‌های یک مجموعه همسایگی چهارتایی، از چهار برابر شدت پیکسل مرکزی کم شود. فرم ریاضیاتی این عملگر به شکل زیر است:

$$\nabla^2 I(x, y) = I(x + 1, y) + I(x - 1, y) + I(x, y - 1) + I(x, y + 1) - 4I(x, y)$$

در پردازش دیجیتال تصاویر، لاپلاسن معمولاً از طریق کرنل گسسته به شکل ماتریس زیر اعمال می‌شود:

$$h = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

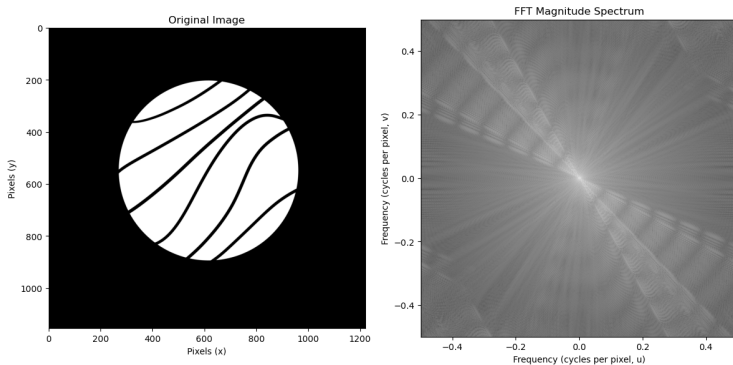
فرکانسی است. پیاده‌سازی این عملگر در کتابخانه‌هایی مانند NumPy و OpenCV آن را به ابزاری استاندارد برای پروژه‌هایی از این دست تبدیل کرده‌است.

ارتباط اجزای فرکانسی در فضای FFT و مقیاس‌های تصویر: حوزه فرکانسی رابطه بین مقیاس‌های فضایی و محتوای فرکانسی را روشن می‌کند به طوری که: فرکانس‌های بالا در فاصله دورتر از مبدأ طیف قرار دارند و به اجزاء کوچک مقیاس مانند لبه‌ها، بافت‌ها، یا منابع نقطه‌ای (مانند ستارگان) مربوط می‌شوند. تصاویر واضح انرژی قابل توجهی در فرکانس‌های بالا دارند، زیرا جزئیات ریز، تغییرات سریع شدت ایجاد می‌کنند. محوشدگی این اجزاء را تضعیف کرده و انرژی را به فرکانس‌های پایین‌تر منتقل می‌کند.

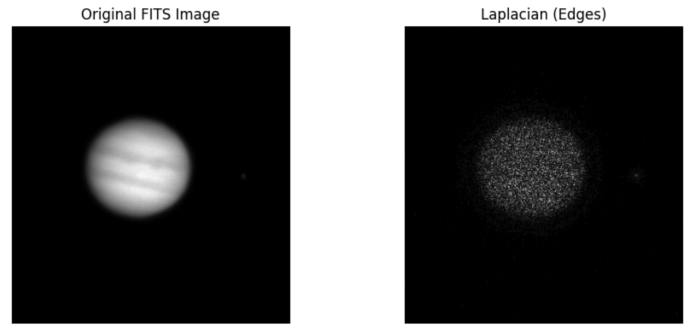
فرکانس‌های پایین نزدیک مبدأ طیف هستند و به ساختارهای بزرگ مقیاس، مانند پس‌زمینه آسمان یا اجسام گسترده (مانند سحابی‌ها)، مربوط می‌شوند. آنها گرادین‌های نرم و شکل کلی را ثبت می‌کنند اما به تغییرات کانون کمتر حساس‌اند.

این معیار اندازه‌گیری فوکوس به این صورت است: یک تصویر واضح توزیع فرکانسی گسترده با محتوای فرکانس بالا دارد، در حالی که تصویر محوشده، انرژی را در فرکانس‌های پایین متمرکز می‌کند. واریانس توزیع فرکانسی معیار مناسبی برای تعیین میزان فوکوس تصویر است به طوری که واریانس بالا نشان‌دهنده توزیع فرکانسی گسترده با محتوای فرکانس بالا و ویژگی تصاویر فوکوس است. واریانس پایین نشان‌دهنده تمرکز انرژی در فرکانس‌های پایین و نشانه محوشدگی است. بنابراین، واریانس بالاتر با وضوح بیشتر همبستگی دارد، زیرا حضور جزئیات ریز را منعکس می‌کند. عملگر FFT پیچیدگی محاسباتی را از  $O(M^2N^2)$  به  $O(MN \log(MN))$  کاهش می‌دهد و استفاده از آن را برای تصاویر نجومی بزرگ عملی می‌سازد.

در تصاویر زیر (شکل ۶، ۵) که مربوط به پیاده‌سازی الگوریتم FFT هستند، تصویر سمت چپ داده خام رصدی و تصویر سمت راست نمایشی از تصویر رصدی در فضای فرکانس است.

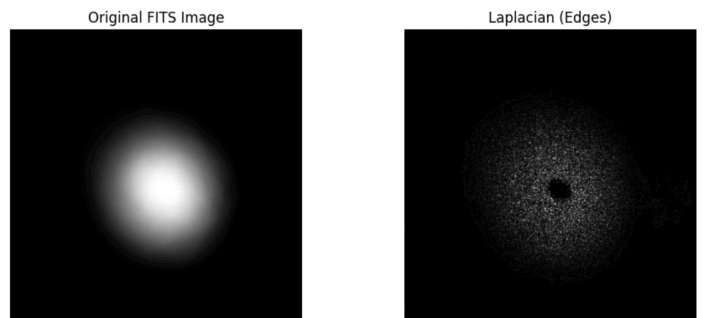


شکل ۴: تصویر سمت راست، پس از اعمال اپراتور FFT بر شکل سمت چپ بدست آمده. عدد واریانس FFT برای این عکس ۰.۱۱۲۵۵ می‌باشد.



شکل ۲: تصویر با وضوح بالا: عکس سمت راست، پس از اعمال اپراتور لاپلاسی بر تصویر مشتری در سمت چپ بدست آمده. مقدار بدست آمده از واریانس لاپلاسی برای این تصویر ۲۳.۲۷ می‌باشد

همانطور که در معرفی عملگر لاپلاسی اشاره شد، افزایش واریانس لاپلاسی نشان‌دهنده تصویری با فوکوس بهتر است و برعکس. این مقایسه را می‌توان به خوبی در اعداد گرفته شده از تصاویر مشتری مشاهده کرد. اما باید توجه داشت که پیاده‌سازی این اپراتور روی داده‌های خام همیشه تشخیص درستی درباره‌ی وضوح تصاویر بدست نمی‌دهد و باید لیبل‌گذاری دستی روی تعدادی داده، تعیین حد بالا، نرمالایز کردن سائز تصاویر و گاهی استفاده از عملگرهای دیگر مانند گرادین را به کار گرفت تا نهایتاً بتوان از واریانس لاپلاسی به عنوان معیار وضوح استفاده کرد.



شکل ۳: تصویر خارج از فوکوس: عکس سمت راست، پس از اعمال اپراتور لاپلاسی بر تصویر مشتری در سمت چپ بدست آمده. مقدار بدست آمده از واریانس لاپلاسی برای این تصویر ۲۰.۸۹ می‌باشد.

تبدیل سریع فوریه (FFT): الگوریتمی است که به‌طور کارآمد تبدیل فوریه گسسته (DFT) را محاسبه می‌کند و یک سیگنال گسسته را به مجموع توابع نمایی مختلط تجزیه می‌کند که فرکانس‌های مختلف را نشان می‌دهند.

این عملگر شدت پیکسل‌ها را در ردیف‌ها و ستون‌ها پردازش می‌کند و تصویر را به‌عنوان سیگنالی دوبعدی در نظر می‌گیرد. همچنین فرکانس‌ها را به الگوهای فضایی بر اساس دوره تناوب آنها اختصاص می‌دهد. برای مثال، الگویی که هر ۱۰ پیکسل تکرار می‌شود، به فرکانس ۱/۱۰ سیکل در پیکسل مربوط است و به‌صورت پیک در مختصات (u,v) در طیف ظاهر می‌شود. طیف حاصل شامل دامنه و فاز است، که دامنه نشان‌دهنده شدت هر جزء

## نتیجه گیری

هدف از این پروژه، بررسی امکان استفاده از الگوریتم‌های لاپلاسی و FFT برای پردازش داده‌های نجومی به منظور کمی‌سازی فوکوس تصاویر و تشخیص وضوح آن بود. با طراحی و بررسی فایل‌هایی که شباهتی بصری به آنچه از تصاویر نجومی می‌دیدیم داشتند متوجه شدیم که این الگوریتم‌ها تفاوت بین انواع ساختارهای بیرونی و همچنین داشتن ساختارهای درونی را به خوبی تشخیص می‌دهند. این گامی مهم برای تشخیص وضوح تصاویر به خصوص تصاویر سیاره‌ای مانند مشتری بود. بنابراین در گام بعدی الگوریتم‌های مذکور را بر روی تصاویر نجومی گرفته شده پیاده‌سازی کردیم که علی‌رغم سچوره بودن این داده‌ها، به نتایج مثبتی دست پیدا کردیم.

مشاهده می‌شود که طبق انتظار قبلی، واریانس محاسبه شده برای تصویر کانونی شده بزرگتر از واریانس محاسبه شده برای تصویر مات است.

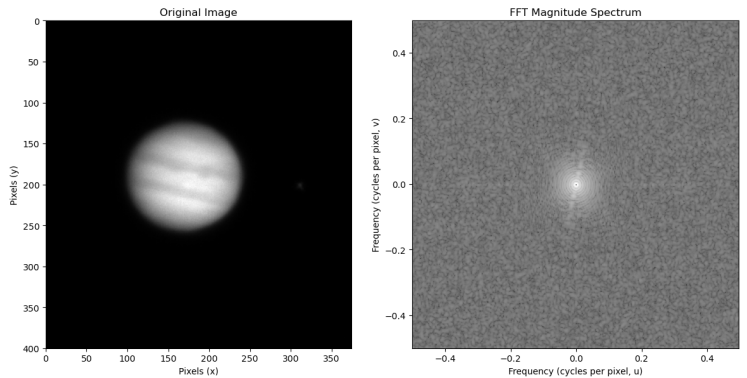
می‌توان با برچسب زدن تعدادی از داده‌های فوکوس و خارج از فوکوس و پیاده‌سازی الگوریتم روی آن‌ها، اختلاف مابین کوچکترین اندازه فوکوس برای تصاویر تیز و بزرگترین اندازه فوکوس برای تصاویر مات را به دست آورد و نقطه‌ای در این بازه را به عنوان حد عددی برای تمیز دادن این داده‌ها از یکدیگر استفاده کرد.

## سپاسگزاری

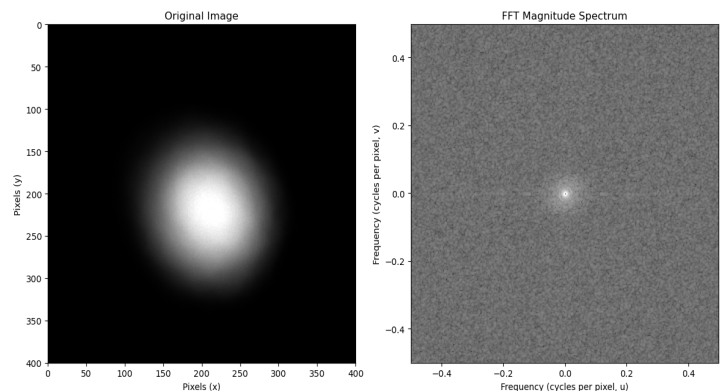
از جناب آقای سعید کریمی بابت همراهی در جمع‌آوری داده‌های رصدی و مباحث اپتیک فوکوس تشکر می‌کنیم. همچنین از جناب آقایان امیرسالار حافظ الکتب و مهدی طلایی به‌خاطر کمک‌های ارزشمندشان در شب رصدی و ثبت تصاویر سپاسگزاریم.

## مرجع‌ها

- [۱] [مصلح، معین. (۱۳۸۵). عکسبرداری دیجیتال و پردازش تصاویر نجومی. تهران: آوند اندیشه.
- [2] Carroll, B. W., & Ostlie, D. A. (2017). *An introduction to modern astrophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- [۳] دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف. (۱۴۰۲). دستور کار آزمایشگاه نجوم (ترم بهار).
- [۴] زرگربارشی، فاطمه. (بی‌تا). درسنامه تلسکوپ و ابزارهای رصدی (بازبینی و اصلاح: آرمان وثیق‌زاده و شهاب‌الدین محین).
- [5] Shapiro, H. M. (1991). *Practical flow cytometry* (3rd ed.). *Cytometry*, 12(3), 307–308.
- [6] Rosebrock, Adrian. "Blur Detection with OpenCV." *PyImageSearch*, 7 Sept. 2015.
- [7] Rosebrock, Adrian. *OpenCV Fast Fourier Transform (FFT) for Blur Detection in Images and Video Streams*. *PyImageSearch*, 15 June 2020.
- [8] Helmy, Islam, and Wooyeol Choi. "Machine Learning-Based Automatic Focusing for High Magnification Systems." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 118, 2023, p. 105648. Elsevier.



شکل ۵: یک نمونه از تصاویر کانونی شده - عدد محاسبه شده به عنوان معیار فوکس برای این تصویر: ۹.۰۱۵۶۲



شکل ۶: یک نمونه از تصاویر مات - عدد محاسبه شده به عنوان معیار فوکس برای این تصویر: ۳.۸۱۹۵۱

## پیشنهادات

الگوریتم‌های ذکر شده در این پژوهش، تنها راه‌های ممکن برای سنجش وضوح تصاویر نیستند و تعداد بیشتری از این ابزارها موجودند. به همین علت در آینده قصد داریم با مقایسه‌ی اپراتورهای جدید روی داده‌های متفاوت (به عنوان مثال تصاویر رصدی ستارگان) و استفاده از تلسکوپ‌های قدرتمندتر مانند رصدخانه ملی ایران، بهینه‌ترین روش را برای تشخیص وضوح تصاویر بیابیم. همچنین علاقمندیم در فرآیند یافتن بهینه‌ترین الگوریتم از روش‌هایی مانند یادگیری ماشین و یادگیری عمیق برای پردازش این داده‌های تصویری استفاده کنیم [۸]. در ضمن همانطور که در مقدمه اشاره شد، می‌توان با توسعه این الگوریتم‌ها و اتصال آن‌ها به سخت افزارها، و محاسبه متریک، یک فوکوسر اتوماتیک طراحی کرد که قادر باشد بدون نیاز به دخالت اپراتور تلسکوپ، در هر زمان بهترین فوکوس ممکن را پیدا کرده و متناسب با آن جابه‌جا شود.