

تدوین کاتالوگ ماموریت و الگوریتم شناسایی الگوی مقاوم جهت ارتقای عملکرد سامانه ستاره یاب در طول روز

جعفر روشنی یان

استاد، دانشکده هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

شبیم یزدانی

دانشجوی دکتری، دانشکده هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

شهره بکران بهشت

کارشناسی ارشد، دانشکده هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

مسعود ابراهیمی کچوئی*

استادیار، گروه مهندسی هوافضا، دانشکده مکانیک دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

به منظور افزایش عملکرد سامانه ستاره یاب به طول روز نیازمندی های این سامانه در دو بخش کاتالوگ ماموریت و الگوریتم شناسایی مقاوم به غیر ستاره بررسی و تأمین شده اند. کاتالوگ مورد استفاده توماس می باشد. به دلیل بالا بودن تعداد اجرام ابتدا کاتالوگ فیلتر گشته و ۶۱ هزار جرم با بالاترین کیفیت موقعیتی و فوتومتری انتخاب شده اند. سپس با استفاده از یکنواخت سازی چیدمان ستارگان، ۴۰۰۰ ستاره به عنوان کاتالوگ ماموریت نهایی استخراج می گردند. با توجه به زیاد بودن اجرام قابل مشاهده در محدوده دید که در کاتالوگ ماموریت و پایگاه داده ذخیره نشده اند، الگوریتم شناسایی الگوی ستاره ی مقاوم به غیر ستاره ها تدوین شده است. این الگوریتم از تبدیل فاصله اقلیدسی ستاره های موجود در کاتالوگ ماموریت به صورت جدول جست و جو استفاده می نماید. تصویری که بیشترین تطبیق را با پایگاه داده داشته باشد به عنوان شناسایی نهایی اعلام خواهد شد. درصد بالای شناسایی صحیح در حضور تعداد قابل توجهی غیر ستاره در کنار حجم محاسباتی کم و فرکانس به روز رسانی مناسب از خصوصیات الگوریتم شناسایی پیشنهادی است.

واژه های کلیدی: ستاره یاب، الگوریتم شناسایی الگو، کوتاه ترین فاصله اقلیدسی، مقاومت به غیر ستاره، عملکرد در طول روز.

Development of Mission Catalog and Robust Identification Algorithm for Daytime Performance Extension of Star Trackers

J. Roshanian

Aerospace Faculty, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Sh. Yazdani

Aerospace Faculty, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Sh. Bekranbehesht

Aerospace Faculty, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran

M. Ebrahimi kachuee

Mechanical Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

In this article, requirement to extend star tracker performance to daytime including mission catalog and image based robust identification algorithm is considered. According to infrared point source catalogs such as 2 Micron All Sky Survey (2MASS), millions of stars are available in certain wavebands of short and near infrared. Mission catalog is filtered and uniformed version of 4000 highest quality infrared point sources 2MASS. Most of 2MASS stars will be present in the star tracker field of view as spikes but not available in database. Therefore it is necessary to avoid their influence on recognition. In this algorithm, information extracted from a single pixel, whether it contains the star centroid or not is utilized. Euclidean distance transform (EDT) of every star with respect to its nearest star centroid is evaluated using Voronoi diagram of image with reduced dimension and stored in database. After processing the image, the map from each guide star is compared to database and in case the matching criterion is not satisfied, the star is eliminated in two greater loops until a similar pattern is recognizable. The algorithm shows considerable performance in the presence of spikes in the field of view.

Keywords: Star tracker, Star pattern recognition, Euclidean distance transform, Robustness to false stars, Airborne.

۱- مقدمه

طی نیم قرن گذشته انواع مختلفی از سیستم های تعیین وضعیت در عملیات هوایی و فضایی مورد استفاده قرار گرفته اند. سیستم های تعیین وضعیت شامل حسگرهای مرجع تعیین وضعیت مطلق و سیستم های بر پایه حسگر اینرسی می باشند. سیستم های ناوبری

اینرسی، به دلیل ماهیت شان در مدت زمان های طولانی دچار انباشتگی خطا شده و نیاز به کالیبره مجدد دارند [۱]. به همین سبب همواره نیاز به سیستم های پشتیبانی دقیق مانند حسگرهای وضعیت مطلق برای تصحیح اطلاعات وجود دارد. برخی از فن آوری های مورد استفاده برای حسگر وضعیت مطلق عبارتند از: مغناطیس سنج (دقت ۱ دقیقه قوسی)، سیگنال فرکانس رادیویی (دقت ۱ دقیقه قوسی)، حسگر افق (دقت ۵

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: ebrahimikm@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۸

دقیقه قوسی)، حسگر خورشید (دقت ۱ دقیقه قوسی)، پنل‌های خورشیدی (دقت یک درجه) و ستاره‌یاب (دقت بهتر از چند ثانیه قوسی) [۲].

سامانه‌های ستاره‌یاب به سبب استفاده از ستاره‌ها که موقعیت ثابتی در کره سماوی دارند، دقیق‌ترین مرجع تعیین وضعیت به حساب می‌آیند. بیش از ۴۰ سال از اولین کاربردهای سامانه ستاره‌یاب در تعیین وضعیت عملیات فضایی می‌گذرد [۳-۶]. به دلیل مزایای استفاده از سامانه ستاره‌یاب مانند عدم نیاز به دانش اولیه از وضعیت، عدم دخالت عامل انسانی در دریافت اطلاعات مورد نیاز، قابلیت استفاده در سیارات دیگر، قابلیت ادغام با سیستم ناوبری اینرسی فضایی، و نهایتاً مستقل و خود مختار^۱ بودن باعث شده است تا روز به روز بر دامنه کاربرد آنها افزوده شود [۷]. به عنوان مثال هرچند کاربردهای اولیه این سامانه‌ها در طول شب و فضای ماورای جو بوده است، استفاده از آنها در طول روز و فضای داخل جو در سال‌های اخیر مورد توجه موسسات تحقیقاتی زیادی قرار گرفته است [۸-۱۰]. استفاده از ستاره‌یاب در طیف مرئی، مشاهده اجرام را به زمان‌های خاصی یعنی فقط در طول شب، بعد از غروب آفتاب یا در ارتفاع بسیار بالا که اتمسفر باعث روشن شدن فضا نمی‌شود، محدود می‌کند. این امر باعث می‌شود جامع بودن سیستمی که به عنوان نسخه پشتیبان و ابزار ثانویه ناوبری استفاده می‌شود، زیر سوال رود. راه حل اساسی پیشنهاد شده برای جبران این محدودیت، تغییر طیف کاری از مرئی به مادون قرمز است. از آنجا که در حال حاضر، بسیاری از سخت‌افزارها و اطلاعات مورد نیاز در طول موج مادون قرمز، برای برنامه‌های کاربردی دیگری تولید شده است، بسط دادن استفاده از آنها در این زمینه امکان‌پذیر و عملی است [۱۱]. به عنوان مثال کاتالوگ مادون قرمز تومس^۲ به منظور شناسایی منشا گیتی به جمع آوری اطلاعات کهکشان‌ها، سیارات و اجرام سماوی در طیف غیر حرارتی مادون قرمز پرداخته است. همچنین مشاهده این اجرام در طول موج مادون قرمز توسط دوربین‌های مادون قرمز که کاربردهای دیگری نیز دارند امکان‌پذیر است. در نتیجه این راه حل به خوبی در میان دانشمندان در سراسر جهان مورد استقبال قرار گرفته است [۱۲].

توسعه عملکرد ستاره‌یاب از عملیات در طول شب به فعالیت در تمام بازه زمانی روز و شب مستلزم تغییر در سخت افزار نوری و نرم افزار می‌باشد. نرم افزار سامانه ستاره‌یاب در حالت کلی شامل چهار بخش تولید کاتالوگ ماموریت، پردازش تصویر، الگوریتم شناسایی الگوی ستارگان و تعیین وضعیت می‌باشد. به واسطه تغییر طیف عملیاتی از مرئی به مادون قرمز تغییرات عمده در سه بخش اول اتفاق می‌افتد. در پژوهش حاضر دو بخش تولید کاتالوگ ماموریت و الگوریتم شناسایی الگو مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

کاتالوگ ماموریت مورد استفاده در این پژوهش کاتالوگ تومس می‌باشد که حاوی اطلاعات بیش از ۴۷۰ میلیون جرم قابل رویت در طیف کاری مادون قرمز است [۱۳]. اما همانطور که قابل درک است این حجم بالا از اطلاعات که بالغ بر ۴۰ گیگابایت حجم دارد قابل استفاده

بر روی یک حسگر نخواهد بود. محدودیت‌های سامانه ستاره‌یاب یاز منظر حجم حافظه سامانه و سرعت پردازش متناسب با آن، امکان ذخیره سازی و جستجو در تمامی این اطلاعات را فراهم نمی‌آورد. در نتیجه انتخاب بهینه کاتالوگ ماموریت از کاتالوگ اصلی، با توجه به پارامترهای اپتیکی، حجم حافظه در دسترس و نرخ به روز رسانی اجتناب ناپذیر است.

از سوی دیگر حضور اجرام انتخاب نشده از کاتالوگ اصلی ستارگان در تصویر، الگوریتم شناسایی الگو را دچار چالش می‌نماید. چرا که این اجرام با حضور در میدان دید و عدم حضور در کاتالوگ ماموریت ممکن است عملیات شناسایی را دچار سردرگمی یا اشتباه کنند. از این ستارگان به عنوان غیر ستاره^۳ یاد کرده و بهبود عملکرد الگوریتم شناسایی در مقابل آنها را مقاوم سازی الگوریتم می‌نامند.

با توجه به سابقه نویسندگان در طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی ستاره‌یاب نصیر ۱ که وظیفه تعیین وضعیت در طول شب را به عهده دارد [۱۴]، کاتالوگ ماموریت شامل بهترین اجرام مادون قرمز قابل مشاهده و الگوریتم شناسایی الگوی ستاره بر پایه‌ی کوتاه‌ترین فاصله اقلیدسی با این رویکرد تدوین شده است که علاوه بر رعایت کردن الزامات حجم حافظه و نرخ به روز رسانی سامانه، مقاومت مناسبی در مقابل حضور اجرام مادون قرمز غیر موجود در پایگاه داده^۴ نیز داشته باشد.

در بخش بعدی مختصری از اطلاعات فیلتر شده از کاتالوگ مادون قرمز تومس به منظور تولید پایگاه داده و یکنواخت سازی چیدمان آنها توضیح داده خواهد شد. در بخش سوم ملزومات تولید پایگاه داده شامل کوتاه‌ترین فاصله اقلیدسی و تولید آن با استفاده از دیاگرام ورونوی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم چگونگی استفاده از این اطلاعات به منظور تولید پایگاه داده ارائه شده و در نهایت نتایج شناسایی در حضور تعداد مختلفی غیر ستاره بیان می‌گردد.

۲- داده کاوی کاتالوگ مادون قرمز به منظور تولید پایگاه داده

تغییر طیف کاری سامانه ستاره‌یاب از مرئی به مادون قرمز، مستلزم استفاده از کاتالوگ ستاره‌ها در باندهای J, H, K مادون قرمز می‌باشد. یکی از مهم‌ترین کاتالوگ‌های ستاره‌یاب مادون قرمز موجود در این طیف، کاتالوگ تومس می‌باشد که تمام آسمان را در سه باند مادون قرمز، در محدوده‌ی ۲ میکرومتر (باند جی، ۱/۲۵ میکرومتر، باند اچ، ۱/۶۵ میکرومتر و باند کی، ۲/۱۶ میکرومتر) تحت پوشش قرار داده است. این کاتالوگ دارای بیش از ۴۷۰ میلیون منبع نوری است که ویژگی‌های هر منبع، با استفاده از ۴۲ پارامتر در ۶۰ ستون (برای هر سه باند) معرفی شده است. از آنجایی که ذخیره کردن تمام این اطلاعات با توجه به محدودیت حجم حافظه و میزان مجاز محاسبات عملاً غیر ممکن است، فیلتر کردن کاتالوگ و کاهش حجم منطقی آن با در نظر گرفتن هدف ماموریت، با روش داده‌کاوی انجام می‌شود [۱۵].

³ Spike

⁴ Database

¹ Autonomous

² Micron All Sky Survey (2MASS)

۱-۲- پارامترهای انتخابی به منظور فیلتر کردن کاتالوگ

تومس

در گام اول بهترین اجرام مادون قرمز از لحاظ مشاهده پذیری، دقت فوتومتری و دقت موقعیت سماوی انتخاب شده‌اند. به این منظور ۲۱ پارامتر برای مقید کردن کاتالوگ به کار رفته‌اند که به طور خلاصه در ادامه توضیح داده می‌شوند [۱۵]. این پارامترها بر مبنای موقعیت ستارگان، قدر و روشنایی آنها در هر سه پهنای باند، کیفیت تشخیص و ثبت آنها و همچنین اعتبار آنها از لحاظ اخترشناسی انتخاب شده‌اند که در ادامه توضیح داده می‌شوند. در واقع در انتخاب پارامترهای سعی شده است تنها پارامترهایی که اجرام مادون قرمز یکتا و منحصر به فرد در آسمان روز را مشخص می‌کنند انتخاب شوند.

• **زویه بعد و میل:** ستون‌های ۱ و ۲ کاتالوگ تومس حاوی زوایای بعد و میل اجرام مادون قرمز نسبت به سیستم مرجع سماوی اینرسی^۱ هستند. مرکز این دستگاه مختصات در مرکز منظومه شمسی قرار داشته و ثابت فرض می‌شود.

• **قدرهای پهنای باند J, H, K-m:** ستون‌های ۷، ۱۱ و ۱۵ قدر اجرام در این سه باند به ترتیب حروف الفبا هستند که برای آن‌ها مقادیر کمتر از ۸ انتخاب شده‌اند.

• **نسبت سیگنال به نویز:** هر یک از باندها^۲: ستون‌های ۱۰، ۱۴ و ۱۸ نسبت سیگنال به نویز اسکن را بیان می‌کنند که نشان دهنده نسبت شار باند به مشخصات نویز اسکن بوده و بر روی انتخاب پارامترهای دوربین تأثیر می‌گذارد. ۲ این مقدار با توجه به میانگین انتخابی بیش از ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.

• **کیفیت فوتومتری^۳:** ستون ۱۹ فلگ کیفیت فوتومتری ستاره است. این فلگ شامل سه کاراکتر الفبایی است که هر حرف نماینده یک باند است. حروف انگلیسی A, B, C, D نشان دهنده کیفیت خام روشنایی در هر یک از رژیم‌های اندازه‌گیری شده است. این فلگ در ارتباط مستقیم با نسبت سیگنال به نویز می‌باشد. در نتیجه انتخاب فلگ ای برای هر سه باند برابر نسبت سیگنال به نویز بیش از ۱۰۰ است.

• **فلگ خواندن^۴:** ستون ۲۰ نشان دهنده فلگ اسکن است. این فلگ شامل ۳ عدد ۱، ۲ یا ۳ است که نماینده بهترین کیفیت تشخیص، فوتومتری و اختر نجومی هستند. فلگ‌های ۱ و ۲ بهترین مشاهدات را انتخاب می‌کنند. این مقدار برابر ۱۱۱ یا ۲۲۲ در نظر گرفته شده است.

• **فلگ ترکیب^۵:** ستون ۲۱ فلگ ترکیب است. این فلگ شامل ۳ کاراکتر عددی برای هر باند است و نشان می‌دهد که چه تعداد مولفه برای تخمین روشنایی یک منبع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بهترین حالت زمانی است که تنها یک مولفه فوتومتری تخمین‌گر روشنایی منبع بوده باشد که باعث دقیق‌تر بودن آن می‌شود. در نتیجه فلگ ترکیب برابر با ۱ مناسب‌ترین گزینه است و برابر ۱۱۱ در نظر گرفته

شده است.

• **فلگ ابهام^۶:** ستون ۲۲ کاتالوگ نشان دهنده آلودگی و ابهام در منبع نوری مادون قرمز است. این فلگ نیز شامل ۳ کاراکتر عددی است که نشان دهنده احتمال آلودگی یا ابهام در موقعیت و فوتومتری منبع مورد بررسی است. در صورتیکه عدد ۰ برای این فلگ انتخاب شود نشان می‌دهد که منبع در نزدیکی هیچ منبع دیگری قرار نداشته و روشنایی و موقعیت آن به صورت دقیق و منحصر به فرد استخراج شده است مقدار این پارامتر برابر ۰۰۰ لحاظ شده است.

• **فلگ تعداد^۷:** ستون ۲۳ نشان دهنده آمار تشخیص فریم است. فلگ ۶ کاراکتری که برای هر باند ۲ کاراکتر عددی انتخاب می‌شود نشان دهنده تعداد فریم‌هایی است که منبع در آن مشاهده شده است. تصویربرداری برای تهیه کاتالوگ تومس به صورت ۶ قطعه مجزا صورت می‌گیرد که در پردازش نهایی این ۶ قطعه باهم ترکیب می‌شوند. در نتیجه اگر یک منبع در حین مشاهده در هر ۶ قطعه دیده شده باشد حاکی از کیفیت بالای روشنایی و دقت موقعیت آن است. انتخاب عدد ۶ برای تمام این فلگ تضمین کننده بهترین ستاره‌ها از لحاظ مشاهده پذیری است و مقدار آن برابر ۶۶۶۶۶۶ در نظر گرفته شده است.

• **تخمین^۸:** ستون ۲۴ نشان دهنده فاصله تخمینی منبع مورد بررسی با نزدیکترین منبع نوری مجاور را بیان می‌کند. در تهیه کاتالوگ تومس فاصله بین دو منبع حداقل ۵ ثانیه قوسی در نظر گرفته شده است. در صورتیکه جرمی نزدیک‌تر از این فاصله باشد، روشنایی و موقعیت آن با ابهام بیان خواهد شد. در نتیجه در نظر گرفتن محدوده تخمین بیش از ۵ ثانیه قوسی می‌تواند تضمین کننده شفافیت و دقت اطلاعات منبع باشد.

• **فلگ آلودگی کهکشانی^۹:** ستون ۲۷ نشان دهنده آلودگی روشنایی توسط بازتاب نور از کهکشان‌های پشت زمینه است. در صورتیکه این فلگ برابر صفر قرار داده شود احتمال تداخل روشنایی آن با نورهای پس زمینه صفر خواهد بود.

• **فلگ چندگانه^{۱۰}:** ستون ۲۸ نشان دهنده این است که منبع مربوط به یک سیاره، شهاب‌سنگ یا ماهواره بین سیاره‌ای می‌باشد یا خیر. در نتیجه اگر عددی به غیر از صفر باشد نشان می‌دهد که جرم ممکن است الزاماً جرم نجومی و کهکشانی نباشد.

• **اسکن:** ستون ۳۲ نشان دهنده تعداد اسکن‌هایی است که منبع در آن‌ها یافت شده است. در واقع این عدد نشان دهنده قابلیت مشاهده یک منبع می‌باشد. هر چه این عدد بزرگتر باشد احتمال مشاهده آن در موقعیت مشخص بیشتر خواهد بود. میانگین اسکن بالای ۷۰ در نظر گرفته شده است که بر مبنای توزیع داده‌های کاتالوگ می‌باشد.

• **روز ژولین:** ستون ۳۶ روز ژولین اندازه‌گیری موقعیت و روشنایی منبع است که با دقت ۳۰ ثانیه قوسی محاسبه می‌شود. این مقدار از ابتدای زمان مشاهدات شروع شده و تا پایان مشاهدات به روز رسانی گشته است. گرچه این پارامتر جزو پارامترهای فیلتر نیست ولی در

6 Cc- flag
7 Ndet
8 Prox
9 Gal-contam
10 Mp-flag

1 International Celestial Reference Frame or ICRS
2 J,H,K-snr
3 Ph-quality
4 Rd- flag
5 Bl- flag

حین داده کاوی لازم است و بعداً به منظور تصحیح اطلاعات کاتالوگ مورد استفاده خواهد بود.

• منبع تکرار شده^۱: ستون ۴۹ نشان دهنده منبع تکرار شده است. این فلگ عددی، نشان می‌دهد که منبع بر روی لبه تصاویر افتاده و در دو تصویر کنار هم تکرار شده است یا نه. انتخاب عدد صفر برای این فلگ موقعیت مناسب این مشاهده را تضمین می‌کند به این معنی که موقعیت ستاره در لبه تصویر نبوده است.

• منبع استفاده^۲: این فلگ ستون ۵۰ کاتالوگ بوده و همان اطلاعات فلگ قبل را تایید می‌نماید. انتخاب این ستون در حالتی که در تضاد با یکدیگر باشند نشان دهنده موقعیت مناسب جرم مادون قرمز از لحاظ قرار گیری در محدوده دید است.

• ای^۳: ستون ۵۱ نماینده یک کاتالوگ نوری مرئی است. بدین معنی که اگر ستاره مذکور در کاتالوگ Tycho-2 یا کاتالوگ نیروی دریایی آمریکا^۴ نیز قابل مشاهده باشد این فلگ کاراکتر مربوط به آن کاتالوگ را نمایش می‌دهد. استفاده از نقاطی که در نور مرئی نیز وجود داشته و در عین حال در طول موج مادون قرمز نیز قابل مشاهده هستند از لحاظ دقت موقعیتی مناسب‌تر بوده و امکان استفاده از الگوریتم‌های شناسایی در طول شب را فراهم می‌آورد. در عین حال این قید بسیار محدود کننده بوده و در اکثر موارد ستاره‌هایی که در هیچ یک از این دو کاتالوگ قرار نداشتند نیز انتخاب شده‌اند.

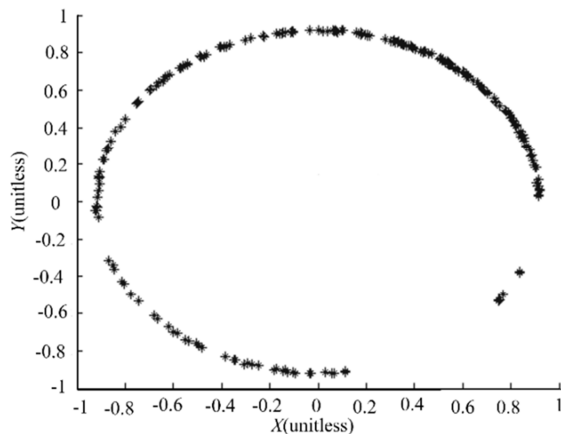
محدوده‌های فوق به صورت ابتدایی کاتالوگ را فیلتر می‌نمایند و پس از اتمام پروسه داده کاوی، نتیجه توزیع اجرام مادون قرمز به صورت مصور نمایش داده می‌شود. به عنوان مثال در داده کاوی اولیه توزیع انتخابی ستاره‌ها به صورت شکل ۱ بدست آمده است.

همانطور که در شکل ۱ قابل مشاهده است در ربع چهارم کره سماوی در زاویه بعد بین ۲۷۰ تا ۳۶۰ درجه، کمبود ستاره وجود دارد. این وضعیت تقریباً در تمام زوایای میل کره سماوی دیده می‌شود که نشان از کمبود اجرام مادون قرمز با مشخصات در نظر گرفته شده در این ناحیه از کره سماوی دارد.

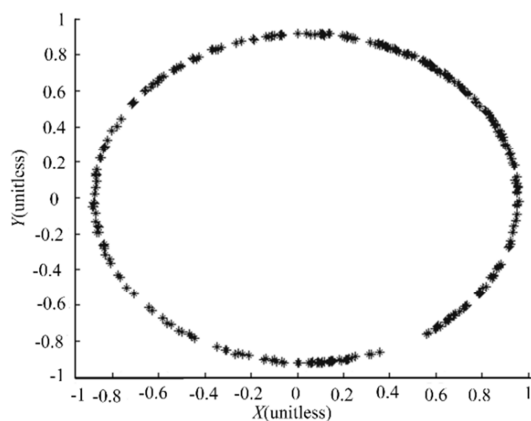
در مقابل در نوار مربوط به کهکشان راه شیری که در زاویه بعد بین صفر تا ۹۰ درجه قرار دارد تراکم بیش از اندازه ستارگان مشاهده می‌شود که در این شکل به صورت تکرار و بر روی هم نمایش داده شده‌اند. در این ناحیه بسیاری از ستارگان علاوه بر طیف مرئی در امواج مادون قرمز نیز حضور دارند. از آنجایی که هدف گزینش اجرام مادون قرمزی است که سرتاسر کره سماوی را پوشش داده باشند، در صورتیکه تنگی یا کمبود ستاره به واسطه قیود اولیه ایجاد شده باشد، در گام دوم از داده کاوی، قیودی که کیفیت منبع منتخب را خدشه دار نکنند مانند شرط کاتالوگ مرئی یا تعداد اسکن بالا کمی سهل‌تر شده و توزیع جامعی از اجرام مشابه شکل ۲ به دست می‌آید.

با اینحال کمبود ستاره در بعضی از نواحی با توجه به کیفیتی که از

آنها مد نظر است، اجتناب ناپذیر خواهد بود. فرآیند داده کاوی با استفاده از دو گام قبل برای زاویه‌های میل ۹۰- درجه تا ۹۰+ ادامه پیدا کرده و در انتها بیش از ۶۱ هزار جرم مادون قرمز از ۴۷۰ میلیون داده موجود در کاتالوگ تومس انتخاب شده‌اند. این اجرام یا بهترین اجرام قابل مشاهده در آسمان هستند یا شرایط نزدیک به ایده آلی دارند که در شکل ۳ قابل مشاهده هستند.



شکل ۱- توزیع ستاره‌های کاتالوگ مادون قرمز بر روی کره سماوی با شعاع واحد با استفاده از قیود عمومی

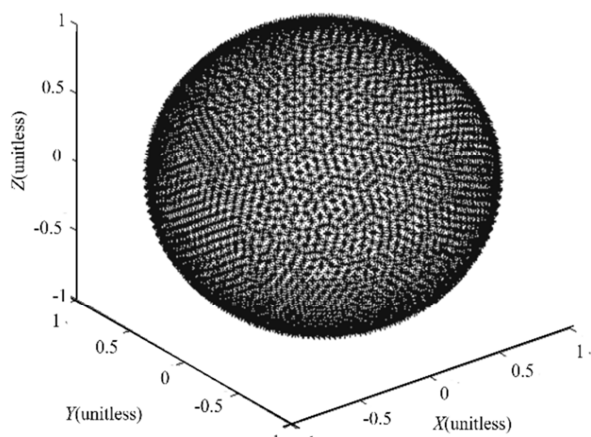


شکل ۲- توزیع ناحیه مشابه از کره سماوی با شعاع واحد با استفاده از سهل‌تر کردن قیود اولیه برای از بین کمبود ستاره

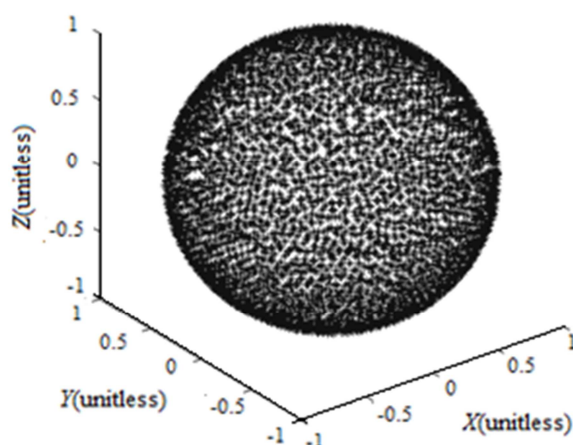
البته برای وضوح بیشتر در نمایش ستاره‌های مادون قرمز انتخاب شده، تنها نیمکره شمالی در شکل ۳ نمایش داده شده است. با توجه شکل ۴ در بیش از ۶۴٪ محدوده‌های دید، بیش از ۸۸ ستاره قابل مشاهده است. تولید هرگونه پایگاه داده‌ای از این تعداد ستاره منجر به تولید میلیون‌ها المان شناسایی می‌گردد که هم از لحاظ پردازش تصویر و هم شناسایی الگو بار محاسباتی زیادی به سامانه تحمیل می‌نماید. در نتیجه کاهش تعداد ستاره‌ها به مقداری مطلوب و قابل ذخیره اجتناب ناپذیر است.

بهترین راهکار تاکنون پیشنهاد شده، انتخاب ستاره‌ها به صورت یکنواخت است که در بخش ۲-۲ توضیح مختصری از آن ارائه خواهد شد.

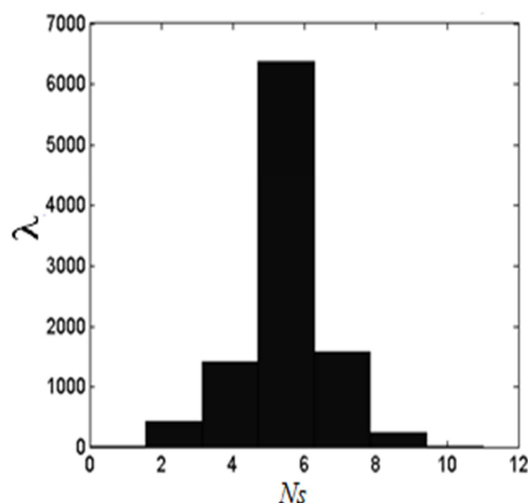
1 Dup-src
2 Use-src
3 a
4 USNO-A2.0



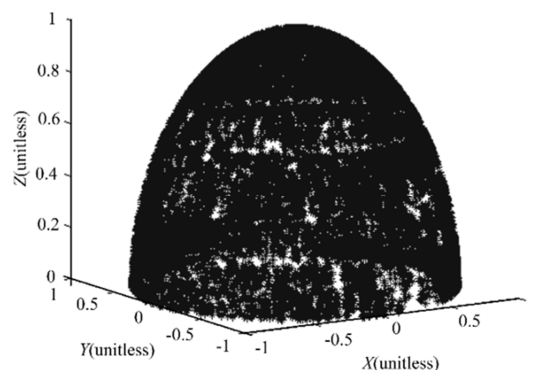
شکل ۵- توزیع یکنواخت چهار هزار نقطه بر روی کره واحد



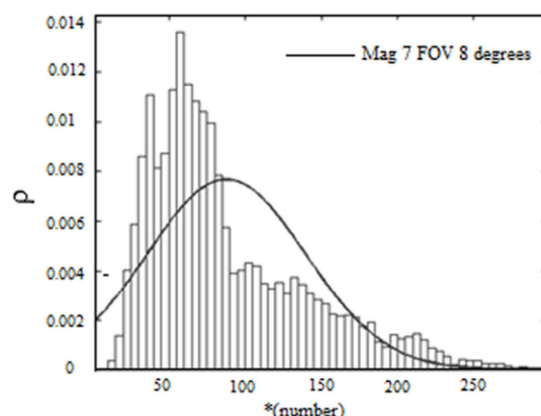
شکل ۶- چیدمان نهایی ستاره‌های کاتالوگ مادون قرمز تومس



شکل ۷- توزیع نرمال ستارگان نهایی انتخاب شده از کاتالوگ تومس



شکل ۳- توزیع ستاره‌های انتخاب شده از کاتالوگ اجرام مادون قرمز تومس بر روی کره سماوی با شعاع واحد



شکل ۴- توزیع ستاره‌های انتخاب شده از کاتالوگ تومس برای محدوده دید ۸ درجه با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو

۲-۲- یکنواخت سازی اطلاعات کاتالوگ اجرام مادون قرمز

در یکنواخت‌سازی چیدمان ستاره‌ها بر روی کره سماوی، ابتدا مجموعه‌ای از نقاط با فاصله یکسان بر روی کره‌ای با شعاع واحد ایجاد می‌گردد. این مساله به مساله چیدمان اتم‌های تامسون معروف است [۱۶]. برای ایجاد کره‌ای با چنین خاصیت روش‌های مختلفی پیشنهاد و پیاده شده‌اند که در این پژوهش از نتایج مرجع [۱۷] برای ایجاد کره‌ای با ۴۰۰۰ نقطه در فاصله یکسان به صورت شکل ۵ استفاده شده است. پس از ایجاد کره یکنواخت، به هر نقطه مرجع یک ستاره مانند شکل ۶ تخصیص داده می‌شود. انتخاب این ستاره می‌تواند با توجه به نزدیکی فاصله آن ستاره از نقطه مرجع و یا میزان روشنایی مجموعه‌ای از ستاره‌ها که در محدوده دید به مرکز نقطه مرجع قرار گرفته‌اند صورت پذیرد. در واقع طراح سعی می‌کند در نواحی کم تراکم آسمان، ستاره‌ها با قدرهای بیش‌تر را انتخاب نموده و در مقابل ستاره‌های غیر مطلوب را از نواحی پرتراکم آسمان حذف نماید، به گونه‌ای که احتمال حضور حداقل ستاره مورد نیاز برای انجام عملیات بازسناسی تامین شده باشد.

هیستوگرام توزیع کاتالوگ ستارگان جدید در شکل ۷ قابل مشاهده است. همانطور که دیده می‌شود در میدان دید ۸ درجه ستارگان به صورت نرمال توزیع شده و در ۹۶/۹۹٪ فریم‌ها بین ۴ تا ۸ ستاره قابل مشاهده است.

۳- الگوریتم شناسایی الگوی ستاره مقاوم به غیر ستاره^۱

فرآیند داده کاوی کاتالوگ سبب می شود تعداد زیادی از ستاره ها که در هنگام تصویربرداری قابل مشاهده هستند از کاتالوگ ماموریت ذخیره شده بر روی حافظه ستاره یاب حذف گردند. از طرفی، اجرایی مانند ماهواره، شهاب سنگ و یا هر جرم روشن دیگری در فضا نیز ممکن است در تصویر به اشتباه به صورت ستاره دیده شوند. به این دسته از نقطه های روشن که در تصویر ثبت می شوند اما در پایگاه داده وجود ندارند، غیر ستاره گفته می شود. بنابراین الگوریتم طراحی شده می بایست با وجود تمام اجرام نورانی (ستاره و غیر ستاره) موجود در تصویر که در پایگاه داده وجود ندارند، شناسایی درستی ارائه دهد. مقاومت الگوریتم شناسایی در مقابل غیر ستاره ها بسیار حیاتی است. اهمیت این امر تا به جایی است که ترجیح داده می شود عملیات تعیین وضعیت یا موقعیت توسط سامانه ناوبری نجومی بدون نتیجه به کار خود پایان دهد تا اینکه پاسخ اشتباه حاصل گردد. در نتیجه تدوین الگوریتم بازشناسایی ستاره مقاوم به غیر ستاره ها در حالت عمومی برای تعیین وضعیت توسط ستاره یاب و به ویژه در طول روز دارای اهمیت فراوانی است.

الگوریتم بازشناسایی الگوی مورد بررسی در این مقاله، به کمک روش تبدیل فاصله اقلیدسی^۲ الهام گرفته از مقاله [۱۸]، نسبت به غیرستاره ها مقاوم می باشد. در این روش که بر پایه اطلاعات تصویر^۳ طبقه بندی می شود، اطلاعات تک تک پیکسل های آرایه تصویر ثبت شده و با پایگاه داده مقایسه می شوند. در ادامه ابتدا مفاهیم کوتاه ترین فاصله اقلیدسی و استخراج آن از دیاگرام ورونوی^۴ با کاهش ابعاد به طور مختصر توضیح داده می شوند. سپس روند تهیه پایگاه داده و فلوجارت شناسایی بر مبنای اطلاعات تصویر ارائه خواهند شد.

۳-۱- تبدیل فاصله اقلیدسی

تبدیل فاصله یکی از ابزارهای پرکاربرد در بینایی ماشین، گرافیک، تحلیل اشیا، تشخیص الگو و هندسه کامپیوتری است. استفاده از تبدیل فاصله اساس مفاهیمی چون دیاگرام ورونوی، محاسبات کوتاه ترین فاصله و بخش بندی تصویرها^۵ به شمار می رود. تبدیل فاصله در مقایسه تصویرهای باینری که ویژگی هایی مانند گوشه ها یا سطوح مشخص دارند بسیار موثر است [۱۹، ۲۰]. روش های مختلفی برای تبدیل فاصله وجود دارد که فاصله را تحت معادلات مشخصی محاسبه می کنند، مانند فاصله صفحه شطرنجی^۶، فاصله بلوک شهری یا منهتن^۷ و فاصله اقلیدسی [۲۱]. از دیدگاه اندازه گیری، روش تبدیل فاصله اقلیدسی، مفیدترین روش می باشد، چرا که با فاصله واقعی اجسام مرتبط است [۲۲].

تبدیل فاصله اقلیدسی، هر نقطه p در تصویر باینری I را به

نزدیکترین فاصله از نقطه مطلوب مانند q نسبت می دهد که q عضوی از مجموعه نقاط پس زمینه، O^c می باشد. به صورت قراردادی مقادیر $I(p)=1$ مربوط به نقاط روشن و $I(q)=0$ مربوط به نقاط تیره یا پس زمینه هستند. نقشه ایجاد شده D به این ترتیب را می توان با استفاده از رابطه (۱) نشان داد [۲۳]:

$$D(p) = \min\{d(p,q) | q \in O^c\} = \min\{d(p,q) | I(q)=0\} \quad (1)$$

در معادله (۱)، D نشان دهنده نقشه تبدیل فاصله تصویر باینری I است که فاصله دو نقطه p و q را به صورت رابطه (۲) محاسبه می نماید.

$$d(p,q) = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2} \quad (2)$$

روش های مختلفی برای محاسبه تبدیل فاصله اقلیدسی یک تصویر باینری وجود دارد که از لحاظ حجم محاسباتی با یکدیگر متفاوت هستند. روش مورد استفاده در این مقاله یکی از سریع ترین و کم حجم ترین روش های تولید تبدیل دقیق فاصله اقلیدسی در زمان خطی با استفاده از کاهش ابعاد تصویر و دیاگرام ورونوی می باشد.

محاسبه تبدیل دقیق فاصله اقلیدسی که عملاً پیدا کردن نقاط مطلوب و محاسبه فاصله هر پیکسل از تک تک این نقاط است به اندازه $O(N^2)$ زمان محاسباتی نیاز خواهد داشت که N نشان دهنده تعداد نقاط موجود در تصویر است. در تلاش برای کاهش این زمان روش های مختلفی ارائه شده اند. به عنوان مثال روش استفاده شده در مرجع [۲۳] این تبدیل را در $O(N \log(N))$ انجام می دهد. در تحقیق مشابهی مرجع [۲۴] زمان محاسبات را به $O(N^{3/2})$ کاهش داده است. الگوریتم پیشنهاد شده در مرجع [۲۵] که در این مقاله نیز مورد استفاده قرار گرفته است زمان محاسبات را به $O(N)$ کاهش داده است.

در روش مورد استفاده در مرجع [۲۵] تصویر توسط یک خط جاروب از پایین به بالا بررسی شده و به تصاویر کوچکتری بر حسب وجود پیکسل مطلوب تقسیم می شود. در هر تصویر جدید شبکه بندی ورونوی ایجاد شده و به نحوی ساده می شود که تنها سلول های قطع کننده خط جاروب و به تبع نقاط مرکزی آنها در تصویر باقی بماند. بدین صورت کاهش ابعاد تصویر به معنی کاهش نقاط موجود در تبدیل فاصله اقلیدسی اتفاق افتاده و در نهایت جمع جبری قطعات باهم تبدیل دقیق فاصله اقلیدسی را منتج می شود.

دیاگرام ورونوی مجموعه نقاط $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\} \in \mathbb{R}^2$ که در آن تعداد نقاط باید بین $2 \leq n < \infty$ بوده و همچنین $P_i \neq P_j, i \neq j, \forall i, j = 1, 2, \dots, n$ مجموعه ای از سلول ها به مرکزیت نقاط P است که شرط رابطه (۳) را ارضا می کنند.

$$V(P_i) = \{\vec{x} | \|\vec{x} - \vec{x}_i\| \leq \|\vec{x} - \vec{x}_j\| \forall i \neq j\} \quad (3)$$

در این شرط $\|\cdot\|$ فاصله اقلیدسی دو نقطه از یکدیگر مد نظر می باشد. در نتیجه با ساده کردن سلول های ورونوی در واقع تبدیل فاصله اقلیدسی محاسبه شده و زمان محاسبات تنها به تعداد نقاط موجود در تصویر بستگی پیدا می کند. در شکل ۸ و شکل ۹ کاهش نقطه های مورد بررسی در تصویر توسط خط جاروب نشان داده شده است. در شکل ۸ خطوط نقطه چین نماینده شبکه بندی یک تصویر باینری بوده، نقطه های مشکی نشان دهنده پیکسل های مطلوب^۸ (مرکز

¹ Spike

² Euclidean Distance Transform

³ Image Based

⁴ Voronoi diagram

⁵ Image Segmentation

⁶ Chess Board distance

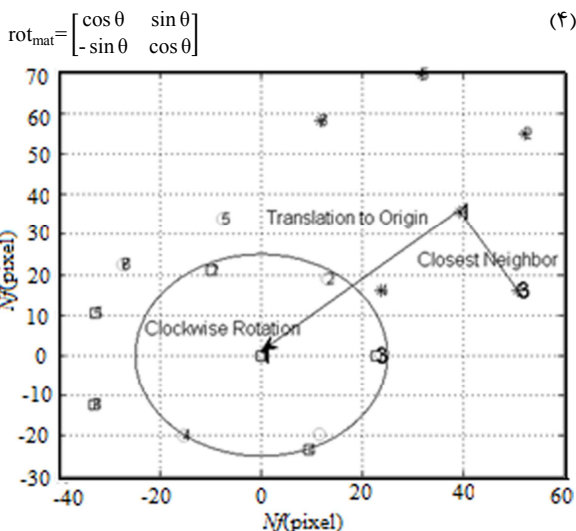
⁷ City block distance/ Manhattan

⁸ Feature Voxel (FV)

۳-۲- تهیه پایگاه داده الگوریتم شناسایی با استفاده از تبدیل فاصله اقلیدسی

در تولید پایگاه داده الگوریتم شناسایی بر پایه تصویر لازم است تا تصاویر کره سماوی در حافظه ستاره یاب ذخیره شوند. به این منظور ابتدا با در نظر گرفتن یک محور دید فرضی، ستارگان موجود در محدوده دید از کاتالوگ ماموریت یکنواخت شده تومس مشخص شده و موقعیت آن‌ها در تصویر دو بعدی برای تولید نقشه تبدیل فاصله اقلیدسی مشخص شود. به منظور یکسان‌سازی الگوی چیدمان، ابتدا ستارگان موجود در تصویر شبیه‌سازی شده سپس نسبت به محور دید به صورت یکسان انتقال و دوران داده می‌شوند. به این ترتیب در هنگام شناسایی تصویر به صورت آنالیز دوران حول محور دید اثرگذار نخواهد بود و هرگونه انتقال و دوران در تصویر با این نگاشت استاندارد خنثی خواهد شد. این نگاشت همانگونه که به تصاویر پایگاه داده اعمال می‌شود به تصاویر گرفته شده از آسمان در حین عملیات نیز اعمال می‌شود تا تطبیق دو تصویر بر هم و در نتیجه شناسایی امکان پذیر باشد.

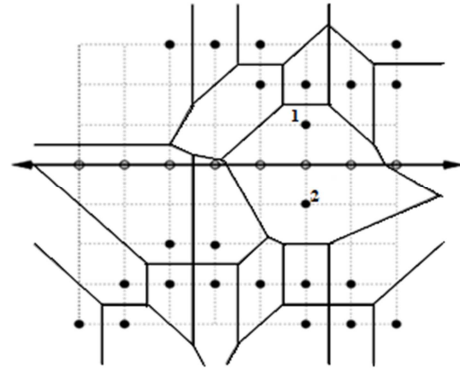
در این نگاشت ابتدا اولین ستاره مورد نظر که می‌تواند پرنورترین ستاره موجود در تصویر یا نزدیکترین ستاره به مرکز باشد، به مرکز انتقال داده می‌شود. در این انتقال تمامی ستارگان جابه‌جا شده و در صورتیکه پس از انتقال ستاره‌ای از محدوده تصویر خارج شود از جمع نقاط حذف خواهد شد. در گام بعد نزدیکترین ستاره به مرکز (پرنورترین ستاره در مرکز قرار دارد) بر مبنای فاصله اقلیدسی مشخص شده و در جهت عقربه‌های ساعت به اندازه زاویه θ دوران داده می‌شود تا روی محور افقی قرار گیرد. مابقی ستارگان نیز به همین ترتیب دوران داده شده و موقعیت آنها نسبت به محدوده‌های تصویر چک می‌شود (این عملیات در شکل ۱۰ قابل مشاهده است). در شکل ۱۰ نشان دهنده تعداد پیکسل تصویر است. ماتریس دوران مربوطه مطابق رابطه (۴) می‌باشد.



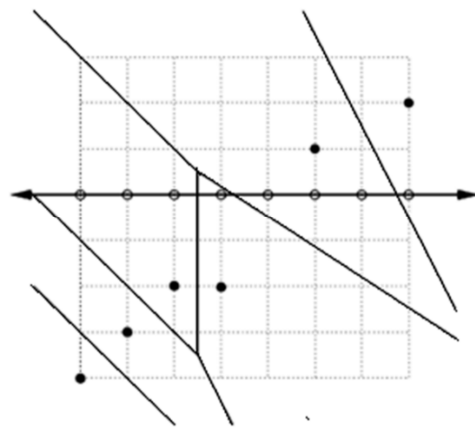
شکل ۱۰- انتقال پرنورترین ستاره به مرکز و سپس دوران نزدیکترین ستاره در جهت خلاف عقربه‌های ساعت تا روی محور افقی قرار گیرد

بعد از نگاشت تصاویر، نقشه تبدیل فاصله اقلیدسی به کمک خط جاروب و دیاگرام ورونوی شرح داده شده در بخش ۳-۱ تولید می‌شود. در این جایدهی مختصات دو بعدی هر نقطه که از پردازش تصویر بر

ستاره‌ها) و نقطه‌های توخالی که همگی بر روی یک خط افقی قرار دارند خط جاروب را نشان می‌دهند.



شکل ۸- دیاگرام ورونوی تصویر باینری و خط جاروب پیش از کاهش ابعاد



شکل ۹- تصویر باینری "شکل ۸" پس از کاهش ابعاد

ابتدا دیاگرام ورونوی تصویر تولید شده و از هر ستون تصویر، نزدیک‌ترین پیکسل مطلوب انتخاب می‌شود. در صورتیکه دو پیکسل مطلوب در فاصله یکسانی از خط جاروب قرار داشته باشند، انتخاب می‌تواند به دلخواه بین یکی از دو پیکسل مطلوب باشد که در شکل ۸ با اعداد ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. بقیه پیکسل‌ها حذف شده و کاهش نقاط در گام اول صورت می‌گیرد که این امر در شکل ۹ قابل مشاهده است. در گام بعدی دیاگرام ورونوی نقاط جدید که تعدادشان کاهش یافته است محاسبه شده و تنها سلول‌هایی برای محاسبه فاصله اقلیدسی خطی برگزیده می‌شوند که خط جاروب را قطع کرده باشند.

مشخص کردن سلول‌هایی که خط جاروب را قطع کرده‌اند عملاً تنها مقایسه بعد y هر یک از راس‌های سلول ورونوی با موقعیت y خط جاروب می‌باشد. سپس فاصله اقلیدسی نقاط نهایی محاسبه شده و ذخیره می‌شود تا به جایی که خط جاروب فاصله بین تمام پیکسل‌های مطلوب را در تصویر طی کند. در انتها فاصله اقلیدسی کل برابر خواهد بود با جمع جبری ماتریس‌های تولید شده در مراحل قبل.

استفاده از این روش در تولید تبدیل فاصله اقلیدسی تصاویر آسمان شبیه‌سازی با استفاده از کاتالوگ تومس که در بخش قبل ارائه گشت زمان تولید پایگاه داده را کوتاه‌تر می‌نماید.

حسب پیکسل بدست آمده است به شماره ستون مربوطه در پایگاه داده تبدیل می‌شود. به عنوان مثال اگر تعداد پیکسل‌های افقی برابر با P_H باشد و موقعیت ستاره طبق پردازش تصویر در نقطه (x_p, y_p) محاسبه شود، شماره ستون ستاره در پایگاه داده در ردیف مربوط به آن تصویر برابر خواهد بود با (۵):

$$\text{Column}_{no} = (y_p - 1) \times P_H + x_p \quad (5)$$

۳-۳- روند شناسایی الگوی ستاره با استفاده از الگوریتم بر مبنای تصویر

ایده مورد استفاده در مرجع [۱۸] به عنوان ایده اصلی این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. در این مرجع بیش از ۷۵۰۰۰ تصویر از آسمان به عنوان پایگاه داده ذخیره شده است و بعد از مشخص نمودن مرکز ستاره‌ها، ابتدا ۶ پارامتر از یک مثلث به رؤس ستاره‌های موجود در تصویر شامل ۳ زاویه داخلی مثلث و ۳ فاصله رؤس از مرکز مثلث محاسبه می‌شود. این ۶ پارامتر با همین مقادیر در پایگاه داده مقایسه شده و گزینه‌های ممکن از جستجوی خطی نگه داشته می‌شوند. سپس نقشه تبدیل فاصله اقلیدسی تصویر دو بعدی محاسبه شده و مختصات (x, y) ستارگان از پردازش تصویر به عنوان ورودی جدول جست و جو^۱ بررسی شده و تصویری که بیشترین شباهت را داشته باشد به عنوان شناسایی نهایی گزارش می‌شود.

پیاده سازی عملی این روش نشان داد که محاسبات در این روش بیش از حد مجاز جهت به روز رسانی اطلاعات در ستاره‌یاب می‌باشد. این نکته به سادگی قابل پیش بینی است چرا که الگوریتم فوق عملاً ترکیبی سنگین از محاسبات ویژگی‌های ستاره مانند زاویه مثلث و فواصل آن است و در عین حال از ویژگی‌های تصویر مانند تبدیل فاصله اقلیدسی نیز استفاده نموده است. اما در روش مورد استفاده در این مقاله حجم محاسبات با استفاده از دو حلقه حذف کننده، تنها به مقایسه خطی مرکزهای ستاره‌ها با نقشه تبدیل فاصله اقلیدسی تقلیل یافته است. در این روش حجم پایگاه داده، زمان تولید آن و زمان مقایسه برخط تصویر با پایگاه داده به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. فلوجارت الگوریتم در شکل ۱۱ قابل مشاهده است. در فلوجارت "شکل ۱۱"، ورودی الگوریتم شناسایی مختصات (x, y) ستاره‌های موجود در تصویر است که توسط الگوریتم پردازش تصویر محاسبه می‌شود. اولین ستاره که ترتیب انتخاب آن می‌تواند نزدیکی به مرکز یا میزان روشنایی آن باشد انتخاب شده و به مرکز تصویر انتقال می‌یابد. سپس با استفاده از ماتریس دوران رابطه (۴) نزدیکترین ستاره به مرکز به گونه‌ای دوران داده می‌شود که روی محور افقی در جهت مثبت قرار گیرد. مختصات نقاط جدید ستاره‌ها با استفاده از رابطه (۵) با جدول جست و جو تولید شده از نقشه تبدیل فاصله اقلیدسی مقایسه می‌شود. در صورتیکه در ستون مورد نظر در پایگاه داده عدد صفر وجود داشته باشد (فاصله اقلیدسی صفر باشد یا به عبارتی نقطه مربوطه روی خودش قرار دارد)، این روند با حذف یک مرحله‌ای نزدیکترین ستاره به مرکز تا آخرین ستاره موجود در تصویر ادامه می‌یابد.

در این حذف مجازی که تنها یک بار برای هر ستاره اتفاق می‌افتد،

احتمال تطبیق یک غیر ستاره در تصویر به شدت کاهش می‌یابد. به منظور تقویت مقاومت الگوریتم به غیر ستاره‌ها، عملیات حذف مجازی برای ستاره مرکزی نیز در حلقه بزرگتری اجرا می‌شود. نتایج هر تکرار در حافظه ذخیره شده و در نهایت تصویری که بیشترین انطباق (بیش از نصف ستاره‌های موجود در تصویر) را با یکی از المان‌های پایگاه داده داشته باشد به عنوان نتیجه شناسایی اعلام می‌شود. در این روش به غیر از انتقال و دوران عملاً محاسبات دیگری در روند شناسایی برخط این الگوریتم صورت نمی‌گیرد که از لحاظ بار محاسباتی الگوریتم مزیت قابل توجهی به شمار می‌رود. به منظور از بین بردن اثر اعوجاجات و کالیبراسیون ضعیف سیستم اپتیک، بازه‌ای از فاصله در اطراف نقطه مرجع در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال در صورتیکه موقعیت ستاره توسط پردازش تصویر (x_p, y_p) اعلام شده باشد، انتظار می‌رود در هنگام شناسایی موقعیت، مطابق معادله (۲) ستون مربوطه حاوی عدد صفر باشد یعنی در آن موقعیت از پایگاه داده ستاره وجود داشته باشد. اما به دلایل مختلفی مانند اعوجاج یا دقت پایین پردازش تصویر ممکن است این موقعیت کمی جابه‌جا شده باشد. در نتیجه در صورتیکه محتوی ستون مورد نظر، عددی بین صفر تا $\sqrt{2}$ باشد، آن ردیف از پایگاه داده مورد بررسی قرار خواهد گرفت. اعمال این اصلاح در الگوریتم مقاومت آن را بالا می‌برد.

۴- نتایج شبیه سازی مونت کارلو عملکرد سامانه

به منظور بررسی عملکرد سامانه با استفاده از کاتالوگ ماموریت و الگوریتم شناسایی پیشنهادی، شبیه سازی مونت کارلو با تعدادهای مختلفی از غیر ستاره‌ها مطابق با گام‌های زیر صورت پذیرفته است.

گام اول: انتخاب تعداد غیر ستاره

گام دوم: انتخاب محور دید سامانه به صورت تصادفی و ایجاد تصویر قابل مشاهده

گام سوم: وارد کردن غیر ستاره‌ها در تصویر به صورت اتفاقی

گام چهارم: استخراج نقاط نورانی موجود در تصویر با استفاده از الگوریتم پردازش تصویر

گام پنجم: اجرای الگوریتم شناسایی پیشنهادی و ثبت نتایج

گام ششم: تکرار گام‌های دوم تا پنجم به تعداد ۱۰۰۰۰ بار

گام هفتم: افزایش تعداد غیر ستاره‌ها و تکرار گام‌های دو تا شش

جدول ۱ حاوی نتایج مربوط به عملکرد سامانه شامل شناسایی صحیح، عدم شناسایی و شناسایی غلط بر حسب تعداد غیر ستارگان در محدوده دید مطابق فرآیند فوق می‌باشد. همانطور که در جدول ۱ قابل مشاهده است، الگوریتم در حضور بیش از ۶۰ غیر ستاره در تصویر، حدود ۹۵٪ شناسایی صحیح دارد. فاکتور مهم دیگری که موجب برتری الگوریتم پیشنهادی می‌گردد، زمان محاسباتی الگوریتم است.

همانطور که از ستون چهارم جدول ۱ قابل مشاهده است میانگین زمان محاسبات بر حسب افزایش تعداد غیرستارگان افزایش می‌یابد اما در محدوده مجاز فرکانس به روز رسانی (۲ هرتز) قرار دارد.

¹ LookUp table

شناسایی الگو مورد بررسی قرار گرفته است. کاتالوگ مورد استفاده کاتالوگ تومس می‌باشد که حاوی بیش از ۴۷۰ میلیون جرم است. ابتدا با توجه به ملزومات سامانه کاتالوگ فوق فیلتر گشته و ۶۱ هزار جرم با بالاترین کیفیت موقعیتی و فوتومتریک انتخاب شده‌اند. در گام بعد از یکنواخت سازی چیدمان ستارگان برای تولید کاتالوگ ماموریت نهایی استفاده شده است. در نهایت ۴۰۰۰ جرم مادون قرمز که در فاصله‌های نسبتاً یکسانی از یکدیگر بر روی کره سماوی قرار دارند به عنوان کاتالوگ ماموریت نهایی انتخاب شدند. با توجه به زیاد بودن اجرام مادون قرمز قابل مشاهده در محدوده دید که در کاتالوگ ماموریت و پایگاه داده ذخیره نشده‌اند، الگوریتم شناسایی الگوی ستاره مقاوم به غیر ستاره‌ها تدوین شده است. پایگاه داده الگوریتم شامل تبدیل فاصله اقلیدسی ستاره‌های موجود در کاتالوگ ماموریت است. فاصله اقلیدسی به کار رفته در این فرآیند با استفاده کاهش ابعاد تصویر توسط دیاگرام ورونوی تولید می‌شود که سریع‌ترین حالت تولید نقشه فاصله اقلیدسی است. در هنگام شناسایی اطلاعات پردازش تصویر با جدول جست و جو حاوی تبدیل فاصله اقلیدسی مقایسه شده و ستارگان موجود در تصویر در دو حلقه منطقی به ترتیب و به صورت مجازی حذف می‌شوند. تصویری که بیشترین تطبیق را با پایگاه داده داشته باشد به عنوان شناسایی نهایی اعلام خواهد شد.

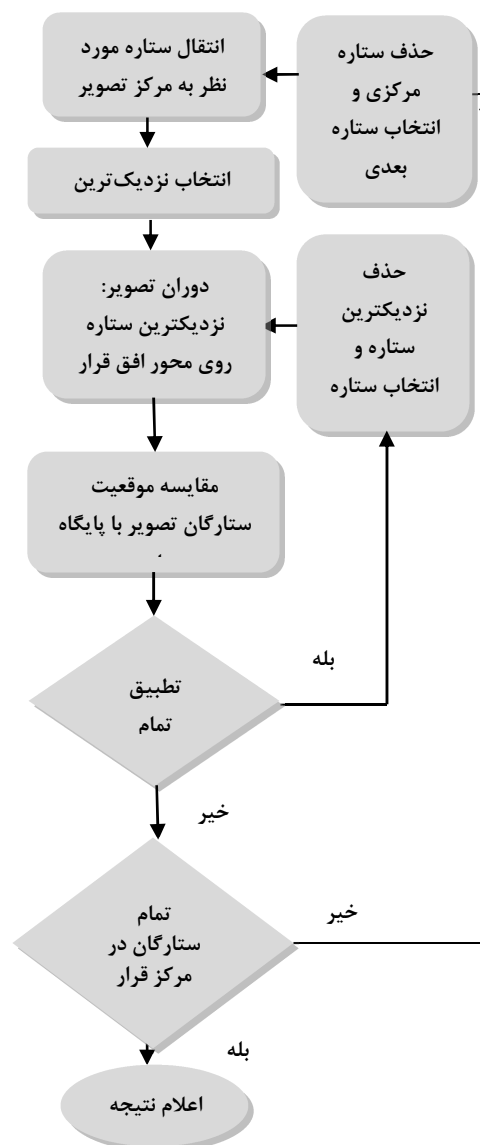
درصد بالای شناسایی صحیح در حضور تعداد قابل توجهی غیر ستاره در کنار حجم محاسباتی کم و فرکانس به روز رسانی مناسب از خصوصیات الگوریتم پیشنهادی است. با این خصوصیات کاربرد عملیاتی آن برای ستاره یاب‌های فعال در طول روز قویاً توصیه می‌گردد.

۶- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از زحمات آقایان مهندس داود غدق از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و جناب دکتر فرید کریمی پور عضو عیث علمی دانشگاه تهران که در نائل شدن به نتایج این پروژه ما را یاری نمودند، اعلام می‌دارند.

۷- نمادها

a	کاتالوگ نوری مرئی
Bl-flg	فلگ ترکیب
Cc-flg	فلگ ابهام
Column	ستون
D	نقشه تبدیل فاصله اقلیدسی
Dec	زاویه میل
d(p,q)	فاصله اقلیدسی دو نقطه
Dup-src	منبع تکرار شده
Gal-contam	فلگ آلودگی کهکشان
I	تصویر باینری
Jdate	روز ژولین
[Jhk]-m	قدر روشنایی سه باند مادون قرمز
[Jhk]-snr	نسبت سیگنال به نویز سه باند مادون قرمز
Mp-flg	فلگ چندگانه
N	تعداد نقاط موجود در تصویر



شکل ۱۱- فلوچارت الگوریتم شناسایی بر مبنای اطلاعات تصویر

جدول ۱- نتایج الگوریتم مقاوم بر پایه تصویر در حضور غیرستارگان

تعداد غیرستارگان	پاسخ صحیح	عدم شناسایی	زمان (ثانیه)
۱۰	۹۷/۰۲۴۳	۲/۹۷۵۷	۰/۰۰۵۳
۲۰	۹۶/۹۶۲۲	۳/۰۳۷۸	۰/۰۰۶۷
۳۰	۹۶/۴۸۹۳	۳/۵۱۰۷	۰/۰۰۷۹
۴۰	۹۶/۲۱۹۲	۳/۷۸۰۸	۰/۰۰۸۱
۵۰	۹۵/۴۰۸۳	۴/۵۹۱۷	۰/۰۰۹۳
۶۰	۹۵/۰۱۶۰	۴/۹۸۴۰	۰/۰۱۲۳
۷۰	۹۴/۳۱۴۳	۵/۶۸۵۷	۰/۰۱۴۹
۸۰	۹۳/۵۰۴۳	۶/۴۹۵۷	۰/۰۱۹۳
۹۰	۹۲/۶۴۷۱	۷/۳۵۲۹	۰/۰۲۶۵
۱۰۰	۹۱/۲۶۹۶	۸/۷۳۰۴	۰/۰۳۳۲

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر نیازمندی‌های الگوریتمی سامانه ستاره یاب برای فعالیت در طول روز در دو قسمت کاتالوگ ستارگان و الگوریتم

- http://www.ipac.caltech.edu/2mass/releases/allsky/doc/sec2_2a.html#scan_key.
- [14] Roshanian J., Yazdani S. and Ebrahimi M., Performance analysis of Nasir-I star tracker in the presence of systematic errors using monte-carlo simulation. *Journal of Control*, **6**(2): pp. 15-21, 2012..
- [15] Roshanian J., et al., 2MASS infrared star catalog data mining for use onboard a daytime star tracker, in *Recent Advances In Space Technology*, IEEE, Editor. Turkey, Istanbul, 2015.
- [16] Thomson J.J., On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure. *Philosophical Magazine Series*, **67**(39): pp. 237-265, 1904..
- [17] Roshanian J., et al., Uniform Star Catalog Generation and Comparison Criterion Introduction for a Typical Star Tracker. *Modares Mechanic Journal*, **15**(3): pp. 344-352, 2015..
- [18] Delabie T., Durt T. and Vandersteen J., A Highly Robust Lost In Space Algorithm Based On The Shortest Distance Transform. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, **35**(2): pp. 476-484, 2013..
- [19] Borgefors G., Distance Transformation in Digital Images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, **34**(3): pp. 344-371, 1986.
- [20] Huttenlocher D.P. and Felzenszwalb F., Distance Transforms of Sampled Functions. *Cornell Computing and Information Science*, **1**(1): pp. 1-15, 2004..
- [21] Li, H. and Xu D., Euclidean Distance Transform of Digital Image in Arbitrary Dimensions, in *Advances in Multimedia Information Processing*, Springer, Editor. Lecture Notes in Computer Science. pp. 72-79, 2006.
- [22] Bailey D.G., An efficient euclidean distance transform. *Combinatorial Image Analysis*, **3322**: pp. 394-408, 2004..
- [23] Fabbri R. and Costa L., 2D Euclidean Distance Transform Algorithms: A Comparative Survey. *ACM Computing Surveys*, **40**(1): pp. 1-44, 2008
- [24] Kolountzakis M.N. and Kutulakos N., Fast computation of Euclidean distance Map for binary images. *Information Processing Letters*, **43**(4): pp. 181-184, 1992..
- [25] Maurer, C.R.J., Rensheng Q., and Raghavan V., Linear Time Algorithm for Computing Exact Euclidean Distance Transforms of Binary Image in Arbitrary Dimensions. *Pattern analysis and machine learning*, **25**(2): pp. 265-270, 2003.

فلگ تعداد	N-det
نقطه مطلوب	O ^c
از مرتبه N	O(N)
هر نقطه دلخواه	p
تعداد پیکسل های افقی	P _H
کیفیت فوتومتري	Ph-Quality
تخمین	Prox
مختصات نقطه دلخواه	(p _x , p _y)
نقطه دلخواه دوم در رابطه با p	q
مختصات نقطه دلخواه دوم	(q _x , q _y)
مجموعه نقاط طبیعی	R ²
زاویه بعد	Ra
فلگ خواندن	Rd-flg
ماتریس دوران	rot
اسکن	Scan
منبع استفاده	Use-src
دیاگرام ورونوی	V
مختصات پردازش تصویر	(x _p , y _p)
زاویه (درجه)	θ
ماتریس	mat
شماره	no

۸- مراجع

- [1] Liebe C.C., Star tracker for attitude determination. *IEEE AES*, **10**(6): pp. 10-16, 1995.
- [2] Liebe D.C.C., Star tracker for attitude determination. *IEEE AES Systems Magazine*, 1995.
- [3] Dzamba T., et al., Success by 1000 Improvements: Flight Qualification of the ST-16 Star Tracker, in *Small Satellite Conference*. 2014.
- [4] Blarre L., et al., New Sodern's APS Based Autonomous Multiple Heads Star Sensor (hydra): Three Heads are Better than One, in *International ESA Conference on Guidance, Navigation and Control Systems*, E.S. Agency, Editor. 2005: Loutraki, Greece.
- [5] Elbert B.R., *Introduction to satellite communication*. Third ed, ed. A. House. 2008.
- [6] Keydel W., Present and Future Airborne and Space-borne Systems, in *RTO SET Lecture Series on, Radar Polarimetry and Interferometry*, G.A.R.C. (DLR), Editor. Brussels, Belgium, 2004.
- [7] Eisenman A.R. and Liebe C.C., The advancing state-of-the-art in second generation star trackers, in *IEEE Aerospace Conference*. IEEE: Snowmass at Aspen. pp. 111 - 118, 1998.
- [8] Gammell J.D., et al., Rover Odometry Aided by a Star Tracker, in *Aerospace conference*, IEEE, Editor. 2013.
- [9] Young E.F., et al., Sub_arcsecond performance of the ST5000 star tracker on a balloon-borne platform, in *Aerospace conference*, IEEE, Editor. 201.
- [10] Yanga P., Xiea L. and Liua J., Simultaneous celestial positioning and orientation for the lunar rover. *Aerospace Science and Technology*, **34**(1): pp. 45-54, 2014.
- [11] Belenki D.B.M., Rye V. and Brinkley T., *Daytime Stellar Imager*, U. patent, Editor. USA, 2009.
- [12] Skrutskie R. and Steining R., The two micron all sky survey (2MASS). *The Astronomical Journal*, **131**, 2005..
- [13] IPAC C., *User's Guide to the 2MASS All-Sky Data Release*. 2006; Available from: