مجله مهندسی مکانیک مدرس، خرداد 1394، دوره 15، شماره 3، ص‌ص 344-352

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

پیاده‌سازی سه روش یکنواخت سازی اطلاعات کاتالوگ ستارگان و تدوین معیارهای مقایسه آن‌ها برای یک سامانه ستاره‌یاب

جعفر روشنی‌یان[1]، شبنم یزدانی[2]، مسعود ابراهیمی[3*]، محمد جواد حسنی کبوترخانی[2]

1- استاد، مهندسی هوافضا دینامیک پرواز و کنترل، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
2- دانشجوی دکتری، مهندسی هوافضا دینامیک پرواز و کنترل، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
3- استادیار، مهندسی هوافضا دینامیک پرواز و کنترل، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
* تهران، صندوق پستی 111- 14115، ebrahimikm@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 17 آبان 1393
پذیرش: 05 بهمن 1393
ارائه در سایت: 25 بهمن 1393

کلید واژگان:
سامانه ستاره یاب
کاتالوگ ستارگان
یکنواخت سازی آسمان
کاتالوگ مأموریت

چکیده

یکی از مهم‌ترین قیود سامانه ستاره‌یاب، حجم حافظه سخت‌افزاری و نرخ به روزرسانی یا سرعت پردازش اطلاعات آن است. به‌منظور کاهش حجم اطلاعات، استفاده از روش‌های یکنواخت سازی کاتالوگ ستارگان که در انتها به صورت پایگاه داده در الگوریتم شناسایی الگوی ستارگان مورد استفاده قرار می‌گیرد، نتایج مطلوبی داشته است. در این پژوهش سه روش قطاع‌های کروی، منحنی شیب‌دار و ذرات باردار تامسون برای تولید کره یکنواخت پیاده‌سازی شده‌اند. پس از ایجاد کره‌های یکنواخت از هریک از روش‌های بیان شده، متناظر با هر نقطه بر روی کره ستاره‌ای که دارای بهترین شرایط است از کاتالوگ مرجع انتخاب می‌گردد. برای ارزیابی کاتالوگ‌های تولید شده و انتخاب بهترین روش یکنواخت سازی، هفت معیار حداقل انرژی، اندازه کاتالوگ، احتمال حضور حداقل ستاره، میانگین، انحراف معیار حضور ستارگان در هر فریم، اندازه پایگاه داده و میزان شناسایی الگوریتم بازشناسی الگوی ستاره تعریف شده و با استفاده از نظر کارشناسان به هر معیار یک وزن اختصاص داده شده است. پس از ارزیابی هفت معیار معرفی شده برای هر سه روش یکنواخت‌سازی و قراردادن در معادله معدل، روش تامسون به‌عنوان روش مناسب پیشنهاد شده است.

Uniform Star Catalog Generation and Comparison Criterion Introduction for a Typical Star Tracker

Jafar Roshanian[1], Shabnam Yazdani[1], Masoud Ebrahimi[2*], Mohammad Javad Hasani Kabutarkhani[1]

1- Department of Aerospace Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran
2- Mechanical Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
* P.O.B. 14115-111 Tehran, Iran, ebrahimikm@modares.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 08 November 2014
Accepted 25 January 2015
Available Online 14 February 2015

Keywords:
Star tracker
Star catalog
Uniform sky
Mission catalog

ABSTRACT

Processor memory capacity and update frequency are one of the main restricting constraints in star tracker design and development. In order to decrease the volume of data required onboard, uniforming the star catalog which is eventually used as pattern recognition database is considered. Three different methods of uniforming the star catalog have been applied. Spherical patches, fixed slope curve and charged particles or Thomson's problem. After generation of a sphere with uniform distribution of points, a star is assigned to each point according to its spherical distance or best magnitude. In order to evaluate the performance of each method, seven evaluation criteria are defined. Point distribution minimum energy, catalog size, minimum star required for pattern recognition, mean and standard deviation of star distribution in each frame, database size and pattern recognition percentage. These seven criteria are combined in weighted equation of "average" to choose the best star catalog uniforming method with respect to the star tracker mission. After having implemented the average equation it is demonstrated that uniforming the star catalog using charged particle or Thomson's problem achieves better results.

1- مقدمه

سامانه ستاره‌یاب به عنوان دقیق‌ترین ابزار کمک ناوبری به همراه سیستم ناوبری اینرسی به منظور تعیین وضعیت ماهواره‌ها، ماهواره‌برها و سایر وسایل هوافضایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. طراحی سامانه ستاره‌یاب به عنوان یک زیر سیستم ناوبری مجموعه‌ای از ایده پردازی‌ها و انتخاب‌ها به حساب می‌آید. یکی از مواردی که در بخش نرم‌افزاری سامانه ستاره‌یاب باید انتخاب شود، کاتالوگ ستارگان است. با توجه به تنوع کاتالوگ‌های موجود از منظر تعداد ستارگان، دقت جمع‌آوری و تولید داده توسط تلسکوپ‌هایی مانند هابل، انتخاب کاتالوگ ستارگان با توجه شرایط اختصاصی هر ماموریت امری کلیدی به‌شمار می‌آید. این انتخاب وابسته به میزان دقت نهایی تعیین وضعیت، حجم داده‌ی مجاز یا ظرفیت حافظه، میزان محاسبات یا به عبارتی نرخ به روز رسانی، قدر حدی ستاره و ... می‌تواند تغییر نماید، که در مرجع [1] به آن پرداخته شده است.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

J. Roshanian, Sh. Yazdani, M. Ebrahimi, M.J. Hasani Kabutarkhani, Uniform Star Catalog Generation and Comparison Criterion Introduction for a Typical Star Tracker, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 15, No. 3, pp. 344-352, 2015 (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.3.1.1]

یکی از قیدهای عملکردی سامانه ناوبری ستاره‌یاب، محدودیت حافظه سخت افزاری مانند حافظه رم و فلش بردهای پردازنده است. این محدودیت موجب می‌شود الزاماتی در مورد حجم پایگاه‌های اطلاعاتی ذخیره شونده بر روی حافظه رعایت شود. یکی از این الزامات حجم کاتالوگ ستارگان است که می‌تواند اطلاعات چند صد تا چند میلیون ستاره را شامل شود. به همین دلیل محققان این حوزه در طراحی یک سامانه ستاره‌یاب، با توجه به پارامترهای سیستمی تاثیرگذار بر یکدیگر تصمیم‌گیری‌های لازم را انجام می‌دهند. به‌عنوان نمونه آستانه ثبت قدر حدی ستارگان توسط بخش اپتیک و آشکارساز به کار گرفته شده در سامانه ستاره‌یاب تعیین می‌شود، که میزان حساسیت به روشنایی ستارگان را مشخص می‌کنند. اما در عمل نرم افزار شناسایی الگوی ستارگان با در نظر گرفتن دقت، حجم حافظه و سرعت پردازنده، قدر نهایی ستارگان، که داخل محدوده قابل تشخیص توسط آشکارساز است، را تعیین می‌کند. یکی از الزامات عملکردی الگوریتم بازشناسی الگوی ستارگان حضور تعداد معینی از ستاره در محدوده دید دوربین است. بیشتر بودن تعداد ستارگان از میزان حداقلی، با وجود این‌که باعث افزایش صحت شناسایی می‌شود، حجم محاسبات افزونه و بالایی دارد که از دید سخت افزاری مطلوب به حساب نمی‌آید. به عنوان مثال اگر دوربین یک سامانه ستاره یاب نوعی قادر باشد ستارگان با قدر 7 را مشاهده نماید، ممکن است الگوریتم شناسایی با توجه به کاتالوگی که استفاده می‌کند، به ستارگان با قدر بیشتر از 5 احتیاج نداشته باشد. در نتیجه این برهم‌کنش، حجم کاتالوگ ستارگان و پایگاه داده ماموریت کاهش یافته و محاسبات کمتری برای حصول دقت‌های نامی سامانه لازم است [2].

با این‌حال شبیه‌سازی‌های آسمان نشان می‌دهد که حضور تعداد معینی از ستارگان در تمام محدوده دیدهای ممکن ستاره‌یاب، که عملاً کل کره سماوی را شامل می‌شود، همواره اتفاق نمی‌افتد. بدین معنی که به دلیل عدم یکنواختی چیدمان ستارگان در کره سماوی، در بعضی نواحی بسیار بیش از نیازمندی الگوریتم شناسایی، ستاره در میدان دید وجود دارد و در مقابل در بعضی دیگر از نواحی به تعداد کافی ستاره قابل مشاهده نیست. این امر نه تنها حجم محاسبات سامانه را تحت الشعاع قرار می‌دهد بلکه میزان دقت و زمان به روز رسانی اطلاعات وضعیت را نیز دچار اختلال می‌نماید. برای رفع این مشکل مبحث یکنواخت‌سازی چیدمان ستارگان مطرح شده است [3].

به عبارت ساده منظور از یکنواخت‌سازی کاتالوگ ستارگان، گزینش و انتخاب ستارگان با قدرهای مختلف در سراسر کره سماوی است، به گونه‌ای که احتمال حضور حداقل ستاره مورد نیاز برای انجام عملیات بازشناسی تامین شده باشد. در واقع طراح سعی می‌کند در نواحی کم تراکم آسمان، ستارگان با قدرهای بیشتر که همچنان در محدوده عملکرد آشکارساز قرار دارند را انتخاب نموده و در مقابل ستارگان غیرمطلوب را از نواحی پرتراکم آسمان حذف نماید. در یکنواخت‌سازی کاتالوگ ستارگان سعی می‌شود احتمال حضور ستاره در تمام مقاطع از آسمان به‌صورت یکنواخت توزیع شود. یکی از مفاهیم پرکاربرد در یکنواخت‌سازی کاتالوگ ستارگان، کره یکنواخت است. منظور از کره یکنواخت مجموعه نقاطی هستند که در فاصله یکسانی بر روی سطح کره توزیع شده باشند [4]. در سال 1904 جوزف جان تامسون[1] دانشمند و فیزیکدان انگلیسی برای یافتن مدل اتم که بعداً به پودینگ آلو[2] مشهور شد، مسئله‌ای را مطرح کرد که هیچ‌گاه تصور نمی‌کرد این مسئله با گذشت یک قرن بدون جواب دقیق باقی بماند [5]. هدف از طرح این مسئله یافتن ساختار قرارگیری عناصر با بار الکتریکی مشابه، بر روی سطح یک کره است که به مسئله تامسون نیز معروف شده است. این مسئله بدین صورت تعریف می‌شود که چنانچه عناصر با بار الکتریکی مشابه، بر روی سطح کره توزیع گردند، تحت تأثیر نیروی دافعه الکتریکی یکدیگر، در موقعیت‌هایی ساکن می‌شوند که سیستم در حالت پایدار و حداقل انرژی قرار گیرد. کره یکنواخت یا به عبارتی کره با توزیع یکسان نقاط بر روی سطح آن، در زمینه‌های مختلف و متعددی کاربرد دارد. پزشکی و مباحث بیولوژیک، ارتباطات از راه دور، قرارگیری ماهواره‌ها در اطراف زمین، آنتن‌های رادیویی و تلفن همراه از دیگر کاربردهای مهم کره یکنواخت هستند [6]. کره یکنواخت به‌غیر از موارد ذکر شده در شاخه‌های دیگر نظیر ساختارهای شیمیایی، فیزیک، اقتصاد، جامعه‌شناسی و غیره نیز کاربرد دارد [8,7].

در یکنواخت‌سازی چیدمان ستارگان بر روی کره سماوی، پس از ایجاد کره یکنواخت، به هر نقطه مرجع یک ستاره تخصیص داده می‌شود. انتخاب این ستاره می‌تواند با توجه به نزدیکی فاصله آن ستاره از نقطه مرجع و یا میزان روشنایی مجموعه‌ای از ستارگان که در محدوده دید به مرکز نقطه مرجع قرار گفته‌اند، صورت پذیرد. در مقاله حاضر تولید کره یکنواخت توزیع به سه روش قطاع کروی، منحنی با شیب ثابت و ذرات باردار تامسون انجام شده است [10,9]. سپس با استفاده از سابقه علمی سامانه ستاره‌یاب نصیر 1 که در دانشکده هوافضای دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی بدست آمده است، کاتالوگ‌های یکنواخت شده با کاتالوگ غیریکنواخت هیپارکوس مورد استفاده در این سامانه مقایسه شده‌اند. به منظور بررسی عملکرد کاتالوگ‌ها، هفت معیار ارزیابی تعریف شده‌اند. معیارهای حداقل انرژی، اندازه کاتالوگ، احتمال حضور حداقل ستاره (که بیان کننده احتمال حضور تعداد حداقلی ستاره به منظور شناسایی در میدان دید ستاره‌یاب است)، میانگین و انحراف معیار حضور ستارگان در هر فریم (که مشخص‌کننده‌ی پارامترهای توزیع نرمال ستارگان هستند)، اندازه پایگاه داده وابسته به ماموریت (که بیان‌گر حجم اطلاعات مورد نیاز برای شناسایی است) و میزان شناسایی الگوریتم بازشناسی الگوی ستاره که در ترکیب با یکدیگر میزان کابردی بودن و برتری هر روش را در مقایسه با کاتالوگ غیریکنواخت پروژه نصیر 1 نمایان می‌کنند. در انتها برای گسترش کاربرد و عمومی کردن روش یکنواخت‌سازی، معادله معدل که ترکیب وزنی هر یک از معیارهای فوق الذکر است استخراج شد. این معادله به طراح اجازه می‌دهد با توجه به ماموریت و مشخصات سامانه مطلوب روش یکنواخت‌سازی مناسب را انتخاب نماید.

در بخش دوم نتایج برگرفته از کاتالوگ غیریکنواخت پروژه نصیر 1 ارائه خواهد شد. در بخش سوم، چهارم و پنجم از این مقاله روش‌های یکنواخت سازی قطاع کروی، منحنی با شیب ثابت و ذرات باردار بیان شده و معیارهای ارزیابی برای هر الگوریتم به صورت منفرد بررسی خواهد شد. در بخش ششم معیارهای ارزیابی معرفی شده و در بخش هفتم معادله معدل و انتخاب روش یکنواخت سازی با توجه به پارامترهای ماموریتی سامانه ستاره‌یاب ارائه خواهد گشت.

2- کاتالوگ غیریکنواخت هیپارکوس[3]

کاتالوگ هیپارکوس در قدر 6 به پایین شامل اطلاعات 5044 ستاره است. به منظور بررسی حضور ستارگان در میدان دید از شبیه‌سازی آسمان استفاده می‌شود. در این شبیه‌سازی خط دید سامانه به صورت اتفاقی به موقعیت‌های مختلف در آسمان نشانه می‌رود. سپس نرم‌افزار شبیه‌سازی آسمان با توجه به اندازه میدان دید، ستارگان موجود در میدان دید را به تصویر می‌کشد. با ثبت تعداد ستارگان حاضر در هر فریم، احتمال حضور حداقل تعداد ستاره مورد نیاز برای انجام بازشناسی الگو بررسی می‌شود. در جدول 1 نتایج حاصل از ده هزار

1- Joseph John Thomson
2- Plum Pudding

3- نتایج بیان شده در این پژوهش لزوماً با منابع و مقادیر مورد استفاده در سامانه نصیر 1 انطباق ندارد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.3.1.1]

خط دید اتفاقی برای محدوده دیدها و قدرهای مختلف قابل مشاهده است.

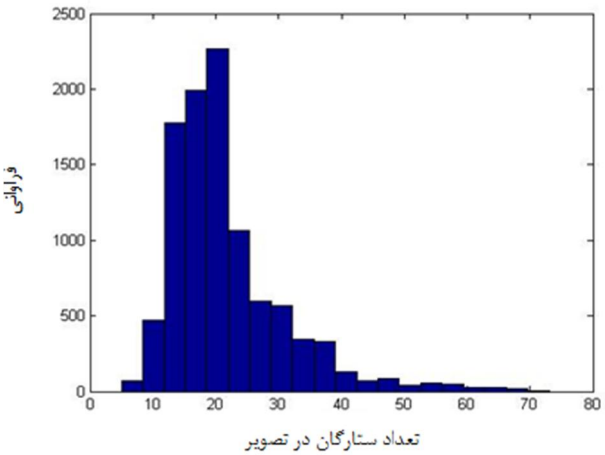
به عبارت دیگر در تمام میدان دیدهای ممکن برای سامانه ستاره‌یاب حداقل 4 ستاره در میدان دید وجود دارد. با این‌حال با توجه به هیستوگرام توزیع ستارگان شکل 1 قابل مشاهده است که تعداد میانگین ستارگان حاضر در درصد بالایی از فریم‌ها بسیار بیشتر از 4 ستاره می‌باشد. این امر حجم محاسبات و پایگاه داده بالایی را به همراه خواهد داشت که مطلوب نیست.

با توجه به شکل 2 با کاهش قدر به 5، تعداد ستارگان حاضر در میدان دید 15 درجه تا یک سوم کاهش می‌یابند، در عین حال تعداد بالای فریم‌های خالی باعث کاهش درصد شناسایی صحیح به میزان قابل توجهی می‌گردد.

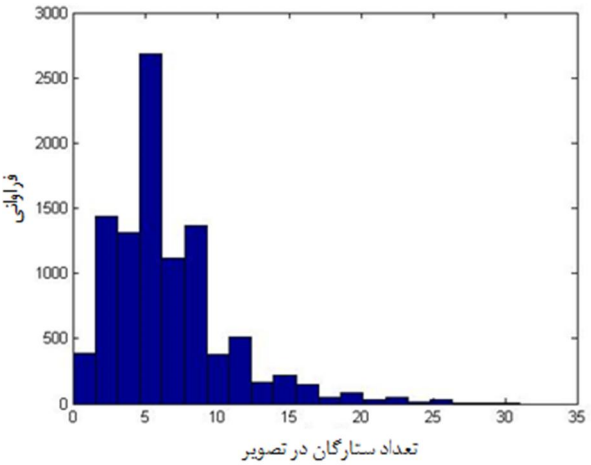
با توجه به جدول 1 قابل مشاهده است که احتمال حضور حداقل 4 ستاره در میدان دید 15 درجه با استفاده از ستارگان قدر 6 به پایین 100% می‌باشد.

جدول 1 احتمال حضور حداقل 4 ستاره در میدان دیدهای مختلف برای کاتالوگ غیرهمگن

میدان دید↓/ قدر←	5	5/5	6
8	6/9	26/47	64/97
12	37/64	81/45	99/09
15	68/61	98/05	100
18	88/79	99/97	100
20	94/80	100	100



شکل1 توزیع ستارگان در کره آسمان برای میدان دید 15 درجه و قدر 6 کاتالوگ غیرهمگن هیپارکوس



شکل2 توزیع ستارگان در کره آسمان برای میدان دید 15 درجه و قدر 5 کاتالوگ غیرهمگن هیپارکوس

3- یکنواخت سازی به روش قطاع‌های کروی[1]

این روش برمبنای تقسیم مساحت کره به مساحت‌های کوچک‌تر عمل می‌کند. در این روش آسمان به قطاع‌هایی با اشکال و مساحت‌های یکسان تقسیم می‌شود. این اشکال می‌توانند هر شکلی از جمله دایره، مثلث، مربع و یا حتی شش‌ضلعی را شامل شوند. پس از ایجاد قطاع‌های یکسان بر روی سطح کره، با اختصاص یک نقطه به هر قطاع، کره‌ای با توزیع نقاط یکسان ایجاد می‌شود. این شیوه را می‌توان برگرفته از روش‌های حجمی، گنبدهای هندسی[2] و موزاییک‌کاری منحنی که سابقه طولانی‌تری دارند، دانست [11]. گنبدهای هندسی در دهه 1940 توسط فولر[3] مطرح و ساخته شدند. در این روش از یکی از قطب‌های کره شروع به گذاشتن موزاییک می‌کنند و موزاییک بعدی لب‌به‌لب موزاییک اول قرار می‌گیرد و این فرایند تا قطب دیگر انجام می‌شود [12]. به‌منظور به کارگیری این روش در یکنواخت‌سازی کاتالوگ ستارگان از الگوریتم پیشنهادی در مرجع [3] استفاده شده است. این روش از قطاع‌های مربعی شکل استفاده می‌شود. پارامترهای تعداد قطاع‌ها در استوا، تعداد کل قطاع‌ها و اندازه یک قطاع توسط طراح مشخص شوند.

3-1- حساسیت‌ها و پارامترهای تصمیم گیری در روش قطاع کروی

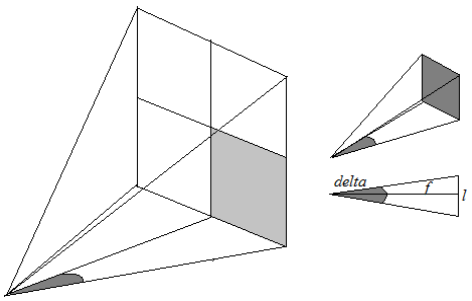
در انتخاب پارامترهای تصمیم‌گیری لازم است رویکردی چند موضوعی اتخاذ شود تا تأثیر پارامترها بر یکدیگر در روند طراحی اعمال شود. به عنوان مثال پارامترهای فیزیکی مقید کننده ابعاد هر قطاع، یکی از المان‌های تأثیرگذار بر تعداد ستاره و اندازه پایگاه داده در روش قطاع کروی است. اندازه پایگاه داده نیز با صحت شناسایی الگوریتم بازشناسی الگو در ارتباط بوده و عملکرد نهایی یکنواخت سازی را تعیین می‌نماید. اندازه قطاع می‌تواند در ارتباط با اندازه محدوده دید دوربین سامانه در نظر گرفته شود.

به‌عنوان مثال در صورتی‌که محدوده دید سامانه 15 درجه مربعی باشد و الگوریتم شناسایی برای تشخیص صحیح به حداقل 4 ستاره در یک میدان دید نیاز داشته باشد، می‌توان مانند شکل 3 از 4 قطاع به ابعاد 3/75 درجه مربعی استفاده نمود که در هر قطاع حداقل یک ستاره انتخاب شود.

با این‌حال کوچک کردن ابعاد قطاع می‌تواند از میزان صحت شناسایی بازخورد داشته باشد و بنا به معادله معدل (رجوع شود به بخش7) کاهش یابد.

بعد از تصمیم‌گیری در مورد اندازه زاویه‌ای هر قطاع، می‌توان طول ضلع قطاع مربعی را با استفاده از رابطه (1) محاسبه نمود. در این رابطه اندازه قطاع با زاویه دلتا و فاصله کانونی دوربین با f نشان داده می‌شود.

تعداد قطاع مورد استفاده در استوا را می‌توان با استفاده از رابطه 2 محاسبه نمود.



شکل 3 ارتباط میان اندازه میدان دید و اندازه قطاع در روش قطاع کروی

1- Spherical Patches
2- Geodesic domes
3- Richard Buckminster Fuller

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.3.1.1]

$$l = 2 \times f \times \tan\left(delta/2\right) \quad (1)$$

در صفحه استوا زاویه بعد[1] صفر در نظر گرفته می‌شود و محیط دایره در این صفحه برابر با محیط مجموع قطاع‌های موجود خواهد بود. در رابطه (2)، l طول هر ضلع قطاع مربعی به‌دست آمده از رابطه (1) و n تعداد کل قطاع‌های موجود در صفحه استوا می‌باشد.

$$nl = 2\pi \quad (2)$$

می‌توان تعداد کل قطاع‌های مربعی شکل N که سطح کره واحد را می‌پوشانند، از رابطه (3) محاسبه نمود.

$$Nl^2 = 4\pi \quad (3)$$

با استفاده از تناظر رابطه (2 و 3) ارتباط بین تعداد قطاع در استوا و تعداد قطاع در کل کره سماوی به‌صورت (4) استخراج می‌شود.

$$N = \frac{n^2}{\pi} \quad (4)$$

3-2- نتایج یکنواخت‌سازی کاتالوگ هیپارکوس با استفاده از روش قطاع کروی

نتایج یکنواخت‌سازی کاتالوگ هیپارکوس به روش قطاع کروی در جدول 2 قابل مشاهده است. انتخاب ستاره در هر قطاع به دو صورت امکان‌پذیر است. روش اول ستارگان را برحسب نزدیکی به مرکز قطاع انتخاب می‌نماید. این روش از لحاظ جای‌دهی هندسی چیدمان یکنواخت‌تری را ارائه می‌دهد. روش دوم پرنورترین ستاره موجود در قطاع را انتخاب می‌کند. بنا به الزامات ماموریت طراح می‌تواند یکی از دو روش را انتخاب نماید.

کاتالوگ یکنواخت شده توسط روش قطاع‌های کروی شامل 3470 ستاره است. توزیع ستارگان برای میدان دید 15 درجه و قدر 6 در هیستوگرام شکل 4 قابل مشاهده است. همان‌طور که دیده می‌شود در قدر 6 درصد بیشتری از فریم‌ها دارای 9 ستاره هستند. با تغییر اندازه زاویه‌ای قطاع و کوچک نمودن آن می‌توان تعداد ستارگان منتخب را بیشتر نموده و درصدهای فوق را افزایش داد. این تصمیم بعد از بررسی هفت معیار ارزیابی قابل اعمال است. در جدول 3 انتخاب برترین ستاره به‌واسطه قدر صورت گرفته است. در هیستوگرام شکل 5، توزیع ستارگان کاتالوگ یکنواخت شده به روش قطاع کروی برحسب قدر قابل مشاهده هستند.

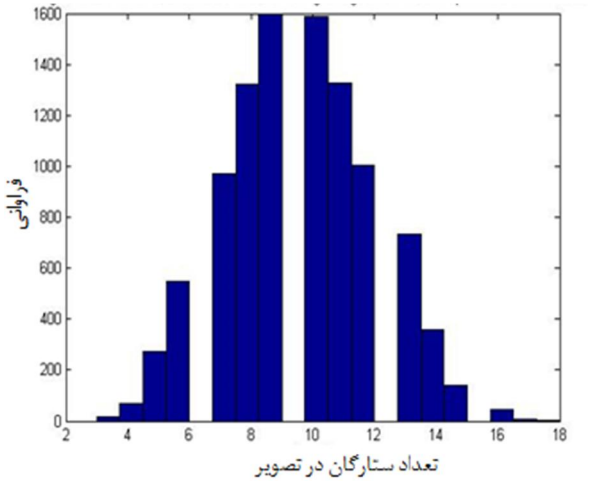
جدول 2 احتمال حضور حداقل 4 ستاره در میدان دید برای کاتالوگ یکنواخت با روش قطاع کروی برحسب فاصله

میدان دید↓/ قدر←	5	5/5	6
8	0/04	0/33	7/25
12	3/04	23/80	82/82
15	14/97	65/74	99/15
18	37/50	91/51	100
20	55/93	97/63	100

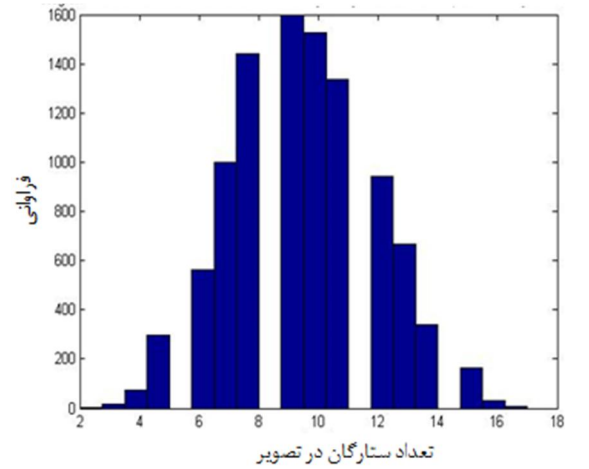
جدول 3 احتمال حضور حداقل 4 ستاره در میدان دید برای کاتالوگ یکنواخت با روش قطاع کروی برحسب قدر

میدان دید↓/ قدر←	5	5/5	6
8	0/31	1/67	6/680
12	12/40	43/86	80/97
15	34/47	83/74	99/8
18	64/94	97/71	100
20	79/17	99/74	100

1- Declination



شکل4 توزیع ستارگان در کره آسمان برای میدان دید 15 درجه و قدر 6 کاتالوگ یکنواخت شده به روش قطاع کروی برحسب فاصله



شکل5 توزیع ستارگان در کره آسمان برای میدان دید 15 درجه و قدر 6 کاتالوگ یکنواخت شده به روش قطاع کروی برحسب قدر

4- یکنواخت سازی به روش منحنی با شیب ثابت

یکی دیگر از روش‌های پاسخ‌گویی به مسئله تامسون یا ایجاد کره با توزیع یکنواخت نقاط، روش منحنی شیب‌دار با شیب ثابت است [13]. در این روش یک منحنی مارپیچ با شیب یا آزیموت ثابت بر روی کره ترسیم می‌شود. این منحنی از یکی از قطب‌های کره شروع و به قطب دیگر ختم می‌شود. پس از ترسیم منحنی، اولین نقطه دریکی از قطب‌ها ایجاد و نقاط دیگر با فاصله یکسان بر روی منحنی نسبت به نقطه قبلی ایجاد می‌شوند و این روند تا قطب مخالف ادامه می‌یابد. در این روش ورودی الگوریتم، تعداد نقاط و شیب منحنی است. برای محاسبه طول منحنی از عنصر سطح و رابطه (5) و (6) در مختصات کروی استفاده می‌شود. شیب منحنی در رابطه (7) قابل مشاهده است.

$$ds^2 = \sin^2(\theta)d\phi^2 + d\theta^2 \quad (5)$$

$$ds = \sqrt{1 + \sin^2(\theta)\left(\frac{d\phi}{d\theta}\right)^2}\, d\theta \quad (6)$$

$$\varphi = m\theta \quad (7)$$

در رابطه (5)، ds طول قطر عنصر سطح، $d\phi/d\theta$ شیب منحنی است (که عددی ثابت مانند m در نظر گرفته می‌شود) که در شکل 6 قابل مشاهده است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.3.1.1]

با جای‌گذاری رابطه (7) در معادله (6) و انتگرال‌گیری در بازه $0 \leq \theta \leq \pi$، طول منحنی مارپیچ $S(\theta)$ را می‌توان به‌صورت معادله (8) محاسبه کرد. جواب انتگرال معادله (8) به صورت معادله (9) قابل استفاده است. در نتیجه شیب منحنی به‌صورت معادله (10) بدست می‌آید.

$$S(\theta) = \begin{cases} 2E(-m^2) - E(\pi - \theta| - m^2) : \pi/2 < \theta \leq \pi \\ E(\theta| - m^2) : 0 \leq \theta \leq \pi/2 \end{cases} \quad (8)$$

$$\theta_j = \cos^{-1}\left(1 - \left(\frac{2j-1}{n}\right)\right) \; j = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$\varphi_j = m\theta_j \quad (10)$$

4-1- نتایج یکنواخت‌سازی کاتالوگ هیپارکوس با استفاده از روش منحنی با شیب ثابت

نتایج یکنواخت‌سازی کاتالوگ هیپارکوس با استفاده از روش منحنی با شیب ثابت برحسب فاصله و قدر در جداول 4 و 5 قابل مشاهده است.

هیستوگرام شکل 7 توزیع ستارگان برای میدان دید 15 درجه و قدر 6 از کاتالوگ یکنواخت شده به روش منحنی با شیب ثابت را که برحسب فاصله انتخاب شده‌اند، نمایش می‌دهد.

همان‌طور که از هیستوگرام شکل 8 قابل مشاهده است، توزیع ستارگان با قدر 6 در میدان دید 15 درجه در کاتالوگ یکنواخت شده به روش منحنی با شیب ثابت بر حسب قدر هموارتر از توزیع برحسب فاصله است. تصمیم گیری در مورد انتخاب بین این دو فاکتور بعد از بررسی معیارهای ارزیابی توسط طراح صورت می‌پذیرد.

5- یکنواخت سازی به روش ذرات باردار

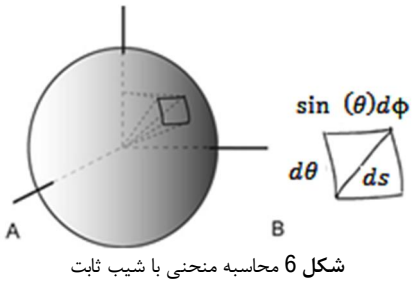
این روش از اثرپذیری متقابل ذرات باردار الکتریکی از یکدیگر بهره می‌برد.

جدول 4 احتمال حضور حداقل 4 ستاره در میدان دید برای کاتالوگ یکنواخت با روش منحنی با شیب ثابت برحسب فاصله

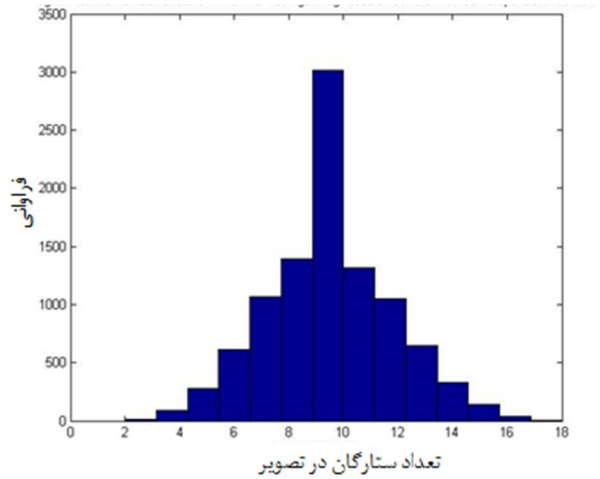
میدان دید↓/ قدر←	5	5/5	6
8	0	0/74	7/24
12	3/14	24/23	81/19
15	17/84	64/14	98/97
18	42/14	90/85	100
20	59/18	97/59	100

جدول 5 احتمال حضور 4حداقل ستاره در میدان دید برای کاتالوگ یکنواخت با روش با روش منحنی با شیب ثابت برحسب قدر

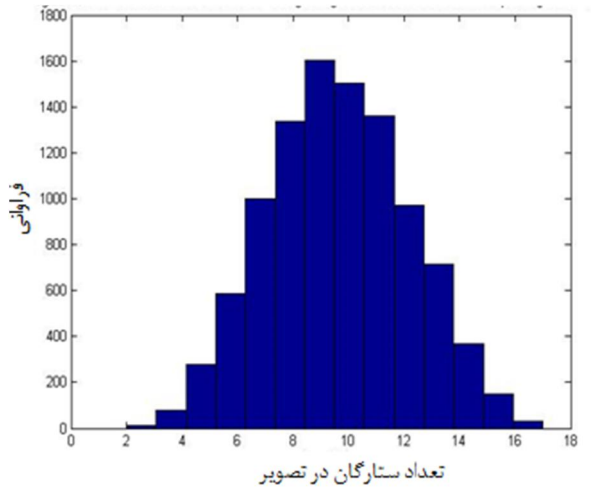
میدان دید↓/ قدر←	5	5/5	6
8	0/45	2/11	7/53
12	13/64	44/83	80/62
15	37/69	83/81	99/09
18	65/91	97/88	99/99
20	80/67	99/77	100



شکل 6 محاسبه منحنی با شیب ثابت



شکل 7 توزیع ستارگان در کره آسمان برای میدان دید 15 درجه و قدر 6 کاتالوگ یکنواخت شده به روش منحنی با شیب ثابت برحسب فاصله



شکل 8 توزیع ستارگان در کره آسمان برای میدان دید 15 درجه و قدر 6 کاتالوگ یکنواخت شده به روش منحنی با شیب ثابت برحسب قدر

چنان‌چه تعدادی عنصر باردار با بار مشابه بر روی یک سطح محدود توزیع گردند، با توجه به تمایل ذرات برای قرارگیری در حالات پایدار، موقعیت آن‌ها با اثرپذیری از سایر ذرات تا قرارگیری در حالت حداقل انرژی تغییر می‌یابد. به بیان دیگر یکسان بودن بار ذرات موجب می‌شود تا عناصر یکدیگر را دفع کرده و در حالتی که نسبت به هم بیشترین فاصله را دارند، قرار گیرند. اگرچه این مسئله که به مسئله تامسون معروف است، در نگاه اول ساده به نظر می‌رسد، اما باگذشت یک قرن از طرح آن، هنوز جواب دقیقی برای آن پیدا نشده و در حال حاضر هفتمین مسئله از هجده مسئله ریاضی بدون جواب قرن بیست و یکم است. با توجه به این‌که مسئله تامسون حل تحلیلی دقیق ندارد، از آن به عنوان مسئله محک[1] روش‌های بهینه‌سازی استفاده می‌شود. تا به حال پاسخ‌هایی برای مسئله تامسون با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مدرن مانند الگوریتم ژنتیک و اجتماع پرندگان به‌دست آمده است [14].

5-1- حل مسئله کره یکنواخت تامسون

برای حل مسئله تامسون از روش‌های تکاملی استفاده شده است. تابع هزینه انرژی پتانسیل یک سیستم که دارای N ذره باردار است به‌صورت رابطه (11) تعریف می‌شود.

1- Benchmark

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.3.1.1]

$$U = \frac{q_e}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{j=1}^{N-1}\sum_{i=j+1}^{N}\frac{1}{r_{ij}} \quad (11)$$

در معادله (11)، q_e نشان دهنده بار الکترون، ε_0 معرف فضای گذردهی[1] و r_{ij}، فاصله بین دو ذره i و j می‌باشد.

برای محاسبه انرژی سیستم رابطه (11) با اندکی ساده سازی به‌صورت رابطه (12) قابل استفاده است.

$$U = \sum_{j=1}^{N-1}\sum_{i=j+1}^{N}\frac{1}{r_{ij}} \quad (12)$$

رابطه (13) قید حاکم بر مسئله را نشان می‌دهد. در این قید حداکثر فاصله دو نقطه از یکدیگر باید از قطر کره با شعاع واحد کمتر باشد.

$$\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \le 2 \quad (13)$$

5-2- نتایج یکنواخت سازی کاتالوگ هیپارکوس با استفاده از روش ذرات باردار

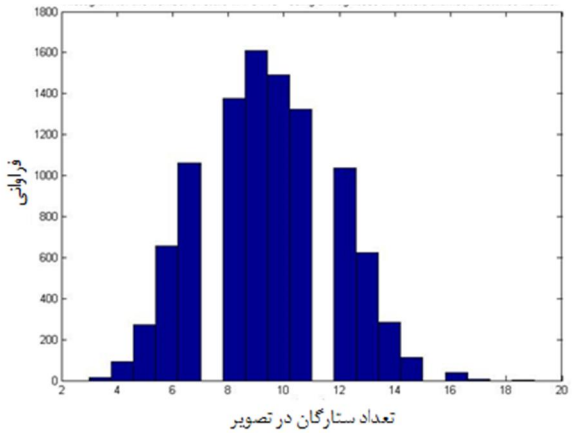
نتایج یکنواخت سازی کاتالوگ هیپارکوس با استفاده از روش ذرات باردار بر حسب فاصله و قدر در جداول 6 و 7 آورده شده است. توزیع ستارگان در هیستوگرام شکل 9 قابل مشاهده است.

جدول 6 احتمال حضور حداقل 4 ستاره در میدان دید برای کاتالوگ یکنواخت با روش ذرات باردار برحسب فاصله

میدان دید↓/ قدر←	5	5/5	6
8	0	0/55	7/66
12	3/06	22/86	80/9
15	16/38	64/71	98/94
18	42/21	91/77	100
20	60/19	98/31	100

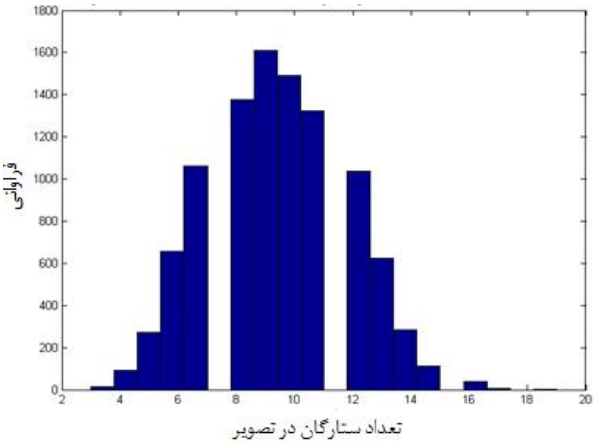
جدول 7 احتمال حضور حداقل 4 ستاره در میدان دید برای کاتالوگ یکنواخت با روش ذرات باردار برحسب قدر

میدان دید↓/ قدر←	5	5/5	6
8	0/48	1/84	7/55
12	13/41	42/51	79/91
15	38/66	80/59	99/01
18	69/48	97/81	100
20	84/96	99/73	100



شکل 9 توزیع ستارگان در کره آسمان برای میدان دید 15 درجه و قدر 6 کاتالوگ یکنواخت شده به روش ذرات باردار برحسب فاصله

1- permittivity of space



شکل 10 توزیع ستارگان در کره آسمان برای میدان دید 15 درجه و قدر 6 کاتالوگ یکنواخت شده به روش عنصرهای شارژ شده برحسب قدر

در هیستوگرام شکل 10 توزیع ستارگان یکنواخت شده به روش ذرات باردار برحسب قدر نمایش داده شده است.

6- معیارهای ارزیابی عملکرد کاتالوگ یکنواخت شده

همان‌طور که در مقدمه نیز بیان شد هفت معیار ارزیابی برای بررسی برتری کاتالوگ حاصل از یک روش یکنواخت سازی نسبت به سایر کاتالوگ‌ها تعریف شده‌اند. این هفت معیار در بخش‌های زیر معرفی شده و نتایج مربوط به مقایسه روش‌های یکنواخت سازی ارائه می‌شود.

6-1- حداقل انرژی کره یکنواخت

انرژی پتانسیل الکتریکی سامانه‌ای نسبت به یک مرجع صفر برابر است با مقدار کاری که توسط یک عامل خارجی فرضی باید انجام شود تا تک‌تک بارهای نقطه‌ای را از فاصله‌ی بی‌نهایت به سمت یک مرجع دلخواه با سرعت ثابت جابه‌جا کند. با توجه به این تعریف از انرژی ذرات، قابل درک است که عناصر در حالت پایدار و حداقل انرژی، دارای فاصله یکسان از یکدیگر باشند. هرچه مقدار انرژی به‌دست آمده کمتر باشد، توزیع نقاط بر روی کره یکنواخت‌تر خواهد بود. در صورتی که انتخاب ستارگان برحسب فاصله صورت گیرد، یا به عبارت دیگر نزدیک‌ترین ستاره به نقطه مرجع بر روی کره یکنواخت انتخاب شود، انتظار می‌رود چیدمان ستارگان نزدیکترین حالت به کره یکنواخت را داشته باشد.

در جدول 8 میزان انرژی کرات مختلف بدست آمده از سه روش قطاع کروی، منحنی با شیب ثابت و ذرات باردار تامسون قابل مشاهده است. همان‌طور که دیده می‌شود این نکته قابل ذکر است که هر چه تعداد نقاط روی کره افزایش یابند، به گونه‌ای سطح کره بیشتر پوشیده شده باشد، انرژی کره ایجاد شده از روش‌های مختلف بهم نزدیک خواهد شد. درنتیجه برای قابل درک بودن تفاوت انرژی، از تعداد نقاط پایین در جدول 8 استفاده شده است.

6-2- تعداد ستارگان یا اندازه کاتالوگ

تعداد زیاد ستارگان انتخاب شده پس از یکنواخت سازی در یک کاتالوگ یک عیب به حساب می‌آید. یکی از مشکلات عمده ناشی از بالا بودن تعداد ستارگان در یک کاتالوگ بزرگ شدن اندازه پایگاه داده تولید شده از آن است [3]. در این‌جا منظور از پایگاه داده، مجموعه اطلاعات از پیش تهیه شده الگوریتم بازشناسی الگو است. به‌عنوان مثال اگر الگوریتم بازشناسی الگو از

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.3.1.1]

ویژگی زاویه فضایی بین ستارگان به‌منظور شناسایی استفاده می‌نماید، پایگاه داده آن شامل تمام زوایای فضایی هر زوج ستاره موجود در میدان دید خواهد بود. در نتیجه هرچه تعداد ستارگان مورد استفاده بالا رود، ترکیب‌های دوتایی ستارگان به‌منظور ذخیره‌سازی در پایگاه داده به صورت فاکتوریلی افزایش خواهد یافت.

در جدول 9 تعداد نقاط ایجاد شده بر روی کره یکنواخت که نماینده میدان دید هستند و تعداد ستارگان انتخاب شده به ازای هر نقطه مرجع قابل مشاهده است.

قابل توجه است که کمتر بودن تعداد ستارگان از تعداد نقاط مرجع نشان دهنده خالی بودن بعضی از قطاع‌هاست.

معایب بالا بودن حجم پایگاه داده در بخش 6-3 توضیح داده می‌شود.

6-3- اندازه پایگاه داده

با توجه به معیار 6-2 و الگوریتم بازشناسی مورد استفاده در سامانه ستاره یاب، بالا بودن حجم پایگاه داده سه اشکال اساسی ایجاد می‌نماید.

1- نیاز به حجم حافظه بالاتر در سخت افزار پردازنده

2- افزایش زمان به روز رسانی اطلاعات به دلیل طولانی بودن فرآیند جستجو در پایگاه داده

3- کاهش صحت شناسایی ستارگان

تعداد بالای ستارگان ترکیب ویژگی‌های مورد استفاده در الگوریتم بازشناسی را افزایش می‌دهد. در نتیجه حجم پایگاه داده افزایش یافته و حجم مورد نیاز برای حافظه رم و فلش سخت افزار بیشتر خواهد بود. در عین حال به ازای هر یک ترکیب ورودی به الگوریتم شناسایی تعداد بسیار زیادی ترکیب کاندیدای پاسخ خواهند بود که زمان جستجو را افزایش داده و به تبع نرخ به روز رسانی اطلاعات وضعیت کاهش می‌یابد. در عین حال افزایش ترکیبات به عنوان پاسخ صحیح برای ستارگان مشاهده شده، احتمال تشخیص نادرست را نیز افزایش می‌دهد. تخمین ناصحیح وضعیت می‌تواند از عدم تشخیص خطرناکتر بوده و ماموریت فضایی را با اخلال یا شکست مواجه نماید.

در جدول 10 تفاوت اندازه در تعداد المان‌های ذخیره شده در پایگاه داده تولیدی از روش‌های مختلف قابل مشاهده است.

همان‌طور که قابل مشاهده است بیش از 5 میلیون ترکیب ستاره در پایگاه داده تولید شده از کاتالوگ مرجع به روش زاویه فضایی، به ازای قدر 6 کاتالوگ هیپارکوس وجود دارد. بعد از یکنواخت‌سازی به روش‌های مختلف این مقدار به کمتر از سیصد هزار المان رسیده است. مفید بودن این کاهش حجم را معیار بازشناسی الگوی ستاره تعیین می‌نماید.

6-4- حداقل تعداد ستاره مورد نیاز برای الگوریتم بازشناسی

همان‌طور که در بخش‌های قبلی نیز بیان شد الگوریتم بازشناسی الگوی ستاره برای اطمینان از انجام شدن شناسایی و صحیح بودن آن، تعداد معینی از ستاره را در میدان دید لازم دارد. هرچه تعداد ستارگان ثبت شده در تصویر بیشتر باشد میزان صحت شناسایی بالا رفته اما در مقابل زمان انجام محاسبات و جستجو در پایگاه داده بیشتر طول می‌کشد. در نتیجه استفاده از کاتالوگ ستارگانی که در هر فریم در کل کره آسمان تعداد متناسبی ستاره داشته باشد ارجحیت دارد. همان‌طور که از هیستوگرام‌های بخش‌های قبل قابل مشاهده است، بسیاری از کاتالوگ‌های تولید شده در اکثر فریم‌های خود بیش از 4 ستاره دارند.

6-5- میانگین حضور ستارگان در تصاویر کره آسمان

با توجه به آنچه در بخش 6-4 بیان شد، بسیاری از کاتالوگ‌های تولید شده میانگین ستاره‌ی بیشتری از حداقل ستاره مورد نیاز الگوریتم بازشناسی دارند. نزدیک‌تر بودن دو عدد تولید شده از حداقل ستاره مورد نیاز و میانگین ستارگان موجود در تصاویر کره آسمان یکی از معیارهای مطلوب در یکنواخت سازی چیدمان ستارگان به شمار می‌رود.

جدول 8 شاخص انرژی کره یکنواخت حاصل از روش‌های مختلف

روش توزیع نقاط بر روی کره	تعداد نقاط	انرژی
قطاع‌های کروی	28	314/073
منحنی شیب‌دار با شیب ثابت	28	313/980
تامسون	28	310/648

جدول 9 اندازه کاتالوگ ستارگان

روش یکنواخت سازی	تعداد نقاط بر روی کره	تعداد ستارگان مبنای فاصله	تعداد ستارگان مبنای قدر
قطاع‌های کروی	3382	2222	2220
منحنی شیب‌دار	3382	2197	2197
تامسون	3382	2225	2225

جدول 10 اندازه پایگاه داده

نوع کاتالوگ	قطاع کروی	منحنی شیب‌دار	تامسون	کاتالوگ مرجع
المان پایگاه داده	298154	288937	295419	5186278

6-6- پراکندگی از میانگین (انحراف معیار[1])

نمودار توزیع ستارگان به‌صورت ناقوسی است و انحراف معیار نشان‌دهنده‌ی پراکندگی داده‌ها حول میانگین است. چنان‌چه انحراف معیار کم باشد، پراکندگی کم، نمودار ناقوسی نازک‌تر و فریم‌هایی که تعداد ستاره قرارگرفته در آن‌ها نزدیک میانگین باشد زیاد می‌شوند؛ و بالعکس بزرگ بودن انحراف معیار باعث پراکندگی زیاد و پهن شدن نمودار می‌شود.

در جدول 11 معیارهای احتمال حضور حداقل ستاره، میانگین و انحراف معیار حضور ستارگان در هر فریم قابل مشاهده هستند. هرچند این معیارها تعاریف متفاوت و اثرات گوناگونی دارند، لیکن مستقل نبوده و متأثر از یکدیگر می‌باشند. شایان ذکر است که مقادیر مطلوب این پارامترها به الگوریتم شناسایی و سخت‌افزارهای سامانه وابسته است و برای هر سامانه مقادیر ایده‌آل متفاوت خواهد بود.

6-7- صحت الگوریتم بازشناسی

یکی از مهم‌ترین معیارهای بررسی کیفیت یکنواخت‌سازی کاتالوگ، میزان تشخیص صحیح الگوریتم بازشناسی است. هرچه توزیع ستارگان به سمتی پیش رود که الگوریتم بازشناسی با درصد بالاتری بتواند فریم‌های تصادفی ستارگان را شناسایی نماید، کاتالوگ مطلوب‌تر خواهد بود.

در این مرحله کاتالوگ یکنواخت شده در تست نرم‌افزار در حلقه با استفاده از شبیه‌سازی آسمان سنجیده خواهد شد. در این تست هر بار خط دید ستاره‌یاب به یک نقطه تصادفی نشانه رفته و شبیه‌ساز آسمان با تصویر کردن ستارگان موجود در میدان دید، مختصات آن‌ها بر روی صفحه‌ی تصویر را، به‌عنوان ورودی به الگوریتم شناسایی الگو می‌دهد.

1- Standard Deviation

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.3.1.1]

صحت شناسایی کاتالوگ‌های مختلف تولید شده به روش‌های فوق در جدول 12 قابل مشاهده هستند.

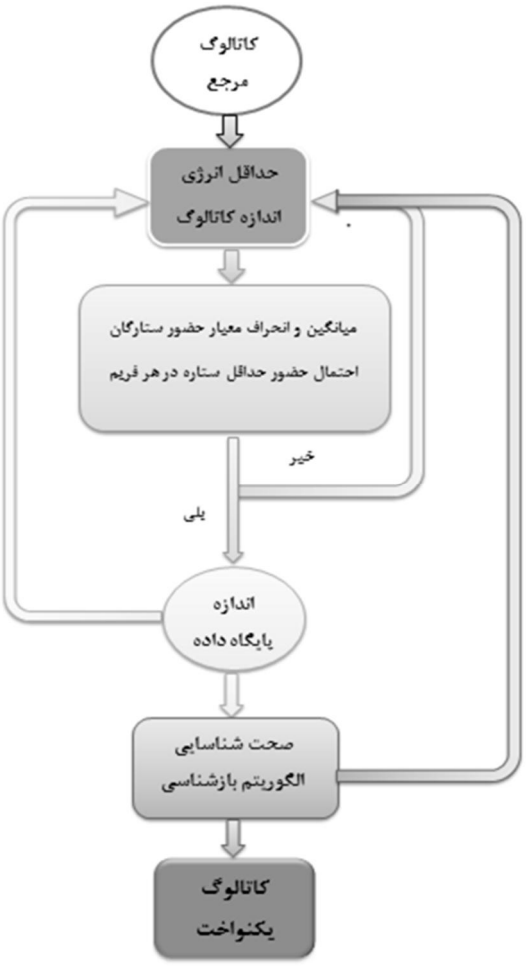
در شکل 11 دیاگرام تبادل اطلاعات بین گام‌های مختلف قابل مشاهده است. اندازه قطاع یا مترادف آن تعداد نقاط بر روی کره یکنواخت جزو پارامترهای ابتدایی ورودی به فلوچارت شکل 11 هستند. قدر حدی و اندازه میدان دید، حداقل تعداد ستاره مورد نیاز برای الگوریتم بازشناسی و همچنین کاتالوگ ستارگان از سایر ورودی‌ها هستند.

جدول 11 احتمال حضور، میانگین و انحراف معیار توزیع ستارگان

کاتالوگ یکنواخت شده	احتمال حضور حداقل4 ستاره	میانگین حضور ستارگان	انحراف معیار حضور ستارگان
قطاع‌های کروی	99/15	13/9	2/99
منحنی شیب‌دار	98/97	13/78	3/01
تامسون	98/94	13/74	2/90
کاتالوگ مرجع	100	31/6	12/6

جدول 12 میزان صحت شناسایی کاتالوگ‌های یکنواخت شده

کاتالوگ	درصد شناسایی صحیح	درصد شناسایی غلط	درصد عدم شناسایی
غیریکنواخت	98/97	0/82	0/2
قطاع کروی	95/62	3/38	1
منحنی شیب دار	95/08	4/22	0/7
ذرات باردار تامسون	97/51	1/58	0/91



شکل 11 ارتباط معیارهای ارزیابی کاتالوگ

جدول 13 نتیجه معادله معدل جهت انتخاب روش یکنواخت سازی

روش یکنواخت سازی	نتیجه معادله معدل
روش قطاع‌های کروی	97/01
روش منحنی شیب‌دار با شیب ثابت	98/63
روش عنصرهای شارژ شده (تامسون)	98/66

7- معادله معدل و ترکیب وزنی معیارهای ارزیابی

معادله معدل ترکیب وزنی هفت معیار معرفی شده در بخش ششم است.

با توجه به ورودی‌های طراح در انتخاب المان‌های تاثیرگذار در روش یکنواخت‌سازی و نتایج گام‌های مختلف، روش مناسب برای ماموریت نوعی با استفاده از رابطه (14) تعیین می‌شود.

$$\text{معدل} = \frac{\text{حداقل انرژی}}{\text{انرژی هر کره}} \times W_1 + \frac{\text{اندازه کوچک‌ترین کاتالوگ}}{\text{اندازه کاتالوگ}} \times W_2 + \frac{\text{درصد احتمال حضور}}{\text{بالاترین درصد احتمال حضور}} \times W_3 + \frac{\text{کمترین میانگین}}{\text{میانگین حضور}} \times W_4 + \frac{\text{کمترین انحراف معیار}}{\text{انحراف معیار}} \times W_5 + \frac{\text{کوچک ترین اندازه پایگاه داده}}{\text{اندازه پایگاه داده}} \times W_6 + \frac{\text{درصد شناسایی}}{\text{بیشترین درصد شناسایی}} \times W_7 \quad (14)$$

در رابطه (14)، W_1: وزن معیار حداقل انرژی، W_2: وزن معیار اندازه کاتالوگ، W_3: وزن معیار درصد احتمال حضور حداقل ستاره، W_4: وزن معیار مقدار میانگین حضور ستارگان در هر فریم، W_5: وزن معیار مقدار انحراف معیار حضور ستارگان در هر فریم، W_6: وزن معیار اندازه پایگاه داده و W_7: وزن معیار درصد شناسایی می‌باشد.

به‌عنوان مثال با بررسی نتایج کسب شده از کاتالوگ‌های یکنواخت و پروژه ستاره‌یاب نصیر1، وزن‌های پیشنهادی برای انتخاب کاتالوگ مناسب این ماموریت به شرح زیر انتخاب شدند.

$W_1 = 3، W_2 = 6، W_3 = 10، W_4 = 9، W_5 = 7، W_6 = 15، W_7 = 50$

با اعمال ضرایب فوق و نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی در رابطه معدل، امتیاز هر یک از روش‌ها از قرار زیر است. مطابق جدول 13، مشاهده می‌شود که روش تامسون از منظر مجموعه هفت معیار، بهترین عملکرد را دارا است.

8- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر روش‌های یکنواخت‌سازی کاتالوگ ستارگان به‌منظور کاهش حجم اطلاعات ذخیره شده در حافظه سخت‌افزار پردازنده بررسی شده‌اند. استفاده از روش‌های یکنواخت‌سازی برمبنای کره یکنواخت پیاده‌سازی شده‌اند. سه روش قطاع کروی، منحنی شیب‌دار و عناصر شارژ شده تامسون مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. هفت معیار ارزیابی انرژی کره، اندازه کاتالوگ، احتمال حضور حداقل ستاره، میانگین و انحراف معیار حضور ستارگان در هر فریم، اندازه پایگاه داده و میزان شناسایی الگوریتم بازشناسی الگوی ستاره به منظور بررسی عملکرد کاتالوگ یکنواخت شده تعریف شده‌اند. در انتها معادله معدل که ترکیب وزنی معیارهای فوق است به‌منظور مشخص نمودن برتری هر روش نسبت به دیگری تولید شده است. تصمیم‌گیری در مورد انتخاب

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.3.1.1]

روش وابسته به ماموریت تعریف شده توسط طراح انجام می‌شود. به‌عنوان مثال در سامانه مورد بررسی و با ضرایب وزنی انتخاب شده روش ذرات باردار به نتایج بهتری می‌انجاند. مطالعات بعدی در خصوص انجام بهینه‌سازی چند هدفی و با کاتالوگ‌های با تعداد المان‌های بالاتر در حال انجام است.

9- مراجع

[1] J. R. Shabnam Yazdani, M. Ebrahimi, Mehdi Hassani, Catalog Selection and Catalog Update Criterions for a typical Star Tracker, *Journal of Space Sscience and Technology,* Vol. 5, No. 4, 1391. (In persian)

[2] J. R. Shabnam Yazdani, M. Ebrahimi, Implementation considerations for Non-dimensional Star Pattern Recognitoin for a typical star tracker, *Journal of Space Sscience and Technology*,, Vol. 5, No. 2, 1391. (In Persian)

[3] C. B. Malak A. Samaan, Daniele Mortari, and John L. Junkins4, Novel Techniques for Creating Nearly Uniform Star Catalog, in *AAS 03-609,* 2003.

[4] L.L.Whyte, Unique Arrangements of Points on a Sphere, *Methematical Association of America*, Vol. 59, No. 9, 1952.

[5] J. J. Thomson, 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,* 1904.

[6] J. F. Thomas Mullerm, Charged particles constrained to a curved surface, arXiv:1209.4184 *[physics.class-ph],* 2012.

[7] N. H. O. T. S. Baker, S. D. Fuller, Adding the Third Dimension to Virus Life Cycles: Three-Dimensional Reconstruction of Icosahedral Viruses from Cryo-Electron Micrographs, *Microbiol. Mol. Bio,* 1999.

[8] P. S. Michael Atiyah, THE GEOMETRY OF POINT PARTICLES, Proc.Roy. Soc. Lond. *A458,* 2001.

[9] H. LAKHBAB, Energy Minimization of Point Charges on a Sphere with a Hybrid Approach, *Applied Mathematical Sciences,* Vol. 6, 2012.

[10] E. B. ANDREI BĂUTU, ENERGY MINIMIZATION OF POINT CHARGES ON A SPHERE WITH PARTICLE SWARMS, *Journ. Phys,* Bucharest, 2009.

[11] D. Kniffen, Geodesic Domes for Amateur Astronomers, *Sky & Telescope* Vol. 88,, pp. 90-94, Oct. 1994.

[12] H. Kenner, Geodesic Math and How to Use It, *University of California Press,* 1976.

[13] C. G. Koay, Analytically exact spiral scheme for generating uniformly distributed points on the unit sphere, *Computer Science,* 2010.

[14] D. M. D. J. R. Morris, K. M. Ho Genetic algorithm energy minimization for point charges on a sphere, *Physical review. B, Condensed matter,* 1995.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.3.1.1]