JSST
Journal of Space Science & Technology

Vol. 5, No. 4, 2012

Star Catalog Criteria Selection and Mission Catalog Update for a Typical Star Tracker

Jafar Roshanian[1], Mehdi Hassani[2], Shabnam Yazdani[3*] and Masoud Ebrahimi[4]

1, 2, 3, 4. SLDC, Department of Aerospace Engineering, K. N. Toosi Univercity of Technology

*East Vafadar Bld., 4th Tehranpars Sq., Tehran, IRAN

Syazdani@kntu.ac.ir

Star tracker is an attitude determination device which determines the satellite or spacecraft's attitude using the star position information in inertial and body references. Star information is collected and stored onboard as a "Star or mission catalog". There are several star catalogs that contain different kinds of information with different accuracy. In this paper the most used star catalogs are introduced and a few star catalog selection features are recommended. These features are weighted according to the star tracker mission type. For the selected star tracker mission, results demonstrate that Hipparcos star catalog is the best choice. Eventually using Hipparcos star catalog, a mission catalog is developed to be used onboard a typical star tracker.

Keywords: Celestial navigation, Star tracker, Star catalog

1. Professor
2. M. Sc.
3. Student M. Sc. (Coressponding Author)
4. PhD

Recived: 2012.03.12 , Accepted: 2012.11.20

JSST
فصلنامهٔ علمی - پژوهشی علوم و فناوری فضایی

جلد ۵ / شمارهٔ ۴ / زمستان ۱۳۹۱
ص. ص ۸- ۱

تدوین معیارهای انتخاب کاتالوگ ستارگان و به‌روزرسانی کاتالوگ مأموریت سامانهٔ ستاره‌یاب نمونه

جعفر روشنی‌یان[۱]، سیدمحمدمهدی حسنی[۲]، شبنم یزدانی[۳*] و مسعود ابراهیمی[۴]

۱، ۲، ۳ و ۴- مرکز پژوهشی سامانه‌های پرتاب فضایی، دانشکدهٔ مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

* تهران، تهران‌پارس، خ وفادار شرق، بلوار دانشگاه

Syazdani@kntu.ac.ir

سامانهٔ ستاره‌یاب، دقیق‌ترین ابزار ناوبری قادر است با تطبیق اطلاعات موقعیت ستارگان در دستگاه اینرسی و اطلاعات تصویر، وضعیت جسم پرنده را تعیین کند. موقعیت ستارگان به همراه مشخصات دیگری از آنها در مجموعه‌ای موسوم به کاتالوگ ستاره گردآوری می‌شود. هدف از این مقاله، انتخاب یک کاتالوگ ستاره برای استفاده در یک سامانهٔ ستاره‌یاب نمونه است. بدین منظور ابتدا، انواع کاتالوگ‌های ستاره معرفی می‌شوند، سپس معیارهای مختلفی برای انتخاب کاتالوگ ستاره تعیین شده و به هر یک از کاتالوگ‌های مورد بررسی امتیازی تعلق می‌گیرد. در ادامه با وزن‌دهی مناسب به معیارهای معرفی شده- با توجه به ضرورت‌های سامانهٔ ستاره‌یاب مورد نظر و جمع امتیازات- کاتالوگ مناسب انتخاب می‌شود. نتایج نشان می‌دهد برای سامانهٔ مورد نظر کاتالوگ هیپارکوس بالاترین امتیاز را دارد و مناسب است. در انتها با به‌روزرسانی و تصحیح موقعیت ستارگان برای کاتالوگ منتخب، کاتالوگ مأموریت برای سامانهٔ ستاره‌یاب نمونه تهیه و تدوین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ناوبری سماوی، سامانه ستاره‌یاب، کاتالوگ ستارگان

علائم و اختصارات

میل در دستگاه مرجع	α
بعد در دستگاه مرجع	δ
اختلاف منظر	Π
فاصلهٔ کانونی دوربین	N
حرکت خاص	Pm
زاویهٔ میل	DC
زاویهٔ بعد	RA

مقدمه

تنظیم شرایط اولیه برای سیستم ناوبری بسیار زمان‌بر است و ممکن است با حرکت‌های پیش از پرتاب مختل شود. همچنین آگاهی نداشتن از مدل دقیق جاذبهٔ زمین و خطاهای ابزارهای اندازه‌گیری و خطای انباشتهٔ محاسبات باعث می‌شود، سیستم ناوبری اینرسی نتواند به دقت‌های مورد نیاز، به ویژه در مأموریت‌ها با زمان طولانی، دست یابد.

برای اصلاح خطاهای سیستم ناوبری اینرسی می‌توان از انواع سیستم‌های ناوبری رادیویی، زمین پایه و فضا پایه استفاده کرد. اما نیاز بعدی مقابله با جنگ الکترونیک است زیرا در سیستم‌های رادیویی به راحتی می‌توان اختلال ایجاد کرد. این نیاز با ظهور ردیاب‌های ستاره‌ای پاسخ گفته شده است. این ابزار می‌تواند با استفاده از اطلاعات ستاره‌ها خطاهای وضعیت جسم پرنده را اصلاح کند.

---

۱. استاد
۲ . کارشناس ارشد
۳ . دانشجوی کارشناسی ارشد (نویسنده مخاطب)
۴ . دکتری

دریافت مقاله: ۹۰/۱۲/۲۲ ، تأیید مقاله: ۹۱/۰۸/۳۰

از لحاظ سخت‌افزاری ستاره‌یاب، یک دوربین بسیار حساس است که به کمک لنز دقیقی که بر روی آن نصب شده است، پرتو ستارگان را جمع‌آوری می‌کند و به کمک ابزارهای بار جفت شده (CCD)، تصاویر تشکیل شده را به صورت دیجیتال به پردازنده ارسال می‌کند. در بخش پردازنده، مقدار شدت نور ستاره یا موقعیت قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر با استفاده از الگوریتم شناسایی الگوی ستارگان بر اطلاعات کاتالوگ تطبیق شده و در نهایت وضعیت جسم استخراج می‌شود [۱].

عملکرد یک ردیاب ستاره علاوه بر اجزای سخت‌افزاری به شدت به قابلیت‌های نرم‌افزاری و الگوریتم‌های مربوطه وابسته است. الگوریتم‌ها و اطلاعاتی که در حافظهٔ ردیاب ستاره ذخیره می‌شود، به شرح ذیل است [۲] :

- الگوریتم پردازش تصویر
- کاتالوگ ستاره
- الگوریتم شناسایی ستاره
- الگوریتم تعیین وضعیت

کاتالوگ ستارگان مجموعه‌ای حاوی انواع اطلاعات مرتبط با ستارگان است. در این پایگاه داده، اطلاعاتی از قبیل موقعیت ستاره، روشنایی ستاره، حرکت ستاره در فضا، اختلاف منظر ستاره و ... آمده است. کاتالوگ‌های ستاره انواع مختلفی دارند و تعداد آنها بسیار زیاد است که از دیرباز مورد توجه منجمین بوده‌اند. در حال حاضر مؤسسات مختلفی بر روی تهیهٔ کاتالوگ ستاره مشغول به فعالیت هستند که از آن جمله می‌توان به رصدخانه دانشگاه هاروارد یا رصدخانه نیروی دریایی آمریکا اشاره کرد [۳].

انتخاب کاتالوگ مناسب ستارگان به‌عنوان یکی از قسمت‌های نرم‌افزاری یک سنسور سامانه ستاره‌یاب، می‌تواند در بهبود عملکرد الگوریتم شناسایی ستاره و الگوریتم تعیین وضعیت نقش مهمی ایفا کند.

اطلاعات کاتالوگ ستاره نسبت به مبدأ زمان خاصی تهیه شده است به این معنی که اطلاعات مندرج در کاتالوگ، اطلاعات ستاره را نسبت به زمان خاصی نشان می‌دهند. با توجه به حرکت ستارگان، موقعیت ستارگان ثابت نیست و باید نسبت به زمان استفاده این اطلاعات به روز شود. از همین رو اطلاعات کاتالوگ‌ها نیازمند به‌روزرسانی است. البته مقدار تغییرات بسیار کوچک است ولی همین مقدار تغییرات در خطای شناسایی و تشخیص الگو دارای اهمیت خواهد بود.

با توجه به این موضوع که کاتالوگ‌ها اکثراً نسبت به سال ۲۰۰۰ میلادی آماده‌سازی شده‌اند بدین منظور در این مقاله فرایند به‌روزرسانی برای سال ۲۰۱۲ میلادی انجام پذیرفته است .

انواع کاتالوگ‌ها

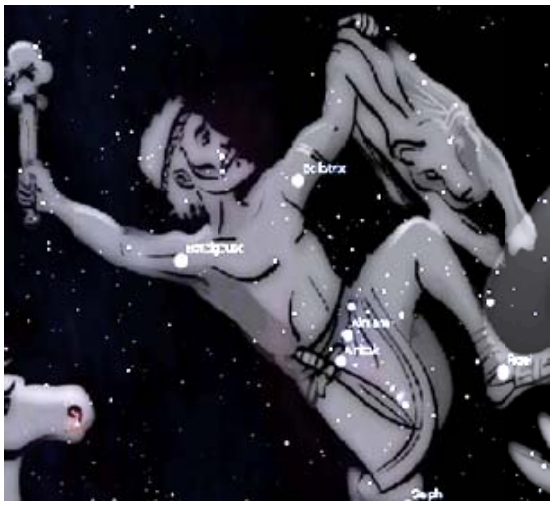
کاتالوگ ستارگان مجموعه‌ای شامل مکان ستاره‌ها، قدر و بسیاری مشخصات دیگر در سیستم مختصات مرجع است. امروزه، کاتالوگ ستاره‌ها تنها شامل ستاره نبوده و علاوه بر آن‌ها کهکشان‌ها و سیاره‌ها را نیز در بر دارند. تاکنون کاتالوگ‌های ستارهٔ بسیاری تهیه شده‌اند که به دلیل پیشرفت دستگاه‌های اندازه‌گیری، روزبه‌روز بر تعداد ستاره‌های آنها افزوده می‌شود. کاتالوگ‌های جامع امروزی یا مستقیماً شامل داده‌های کاتالوگ‌های پیشین یا نتیجهٔ تجزیه و تحلیل کامپیوتری داده‌های قدیمی‌تر ولی با دقت بیشتر هستند.

کاتالوگ‌های ستاره دسته‌بندی مختلفی دارند که از آن جمله می‌توان به دسته‌بندی بر اساس سیر تحولات تاریخی اشاره کرد.

کاتالوگ‌های عصر باستان

این کاتالوگ‌ها فقط جنبهٔ تاریخی دارند و استفاده از آن‌ها تقریباً منسوخ شده است. از جمله کاتالوگ‌های این دسته می‌توان به کاتالوگ‌های ایجادشده توسط هند باستان، ایران، مصر و بین‌النهرین اشاره کرد.

این کاتالوگ‌ها به صورت مدون نبوده و اکثراً برپایهٔ اطلاعات صور فلکی آن منطقه گردآوری شده‌اند. این موضوع با مقایسهٔ کاتالوگ‌های مناطق جنوبی و شمالی زمین به خوبی مشخص می‌شود، به نحوی‌که صور فلکی نیم‌کره شمالی مثل جبار (شکل ۱) یا دب اکبر در کاتالوگ‌های منجمین اروپایی، خاورمیانه و چین دیده می‌شود در حالی‌که صورت فلکی سگ بزرگ[5] (یکی از صور فلکی نیم‌کره جنوبی) در این کاتالوگ‌ها وجود ندارد [۲].



شکل ۱- نمایی از صورت فلکی جبار

5. Canis Major

کاتالوگ بایر

در سال ۱۶۰۱ میلادی، بایر، وکیل آلمانی، اولین کاتالوگ مدون که در آن از روشی خاص برای نامگذاری استفاده شده بود، معرفی کرد. وجه تمایز این کاتالوگ را که آن را یکی از معروف‌ترین کاتالوگ‌ها کرده است می‌توان در نحوهٔ نامگذاری این کاتالوگ جستجو کرد [۴].

کاتالوگ‌های کل آسمان

موارد قبلی از کاتالوگ‌های معرفی شده برای قسمتی از آسمان یا فقط برای تعداد چند هزار ستاره هستند. اما با توجه به اینکه این کاتالوگ‌ها تمامی مناطق آسمان را پوشش نمی‌دهند، از قرن ۱۹ به بعد، گونه‌ای جدید از کاتالوگ‌های آسمان که تمامی آسمان را پوشش می‌داد ایجاد شدند و تکمیل آنها تا به امروز ادامه دارد. از جمله کاتالوگ‌های تمام آسمان می‌توان به کاتالوگ‌های زیر اشاره کرد [۴]:

کاتالوگ للاند[6]: در این کاتالوگ مشخصات مکانی و اندازهٔ ۴۷۳۹۰ ستاره آورده شده است. در واقع این کاتالوگ یکی از کامل‌ترین کاتالوگ‌های زمان خودش به حساب می‌آمد.

کاتالوگ HD: این کاتالوگ که به کاتالوگ هنری دراپر[7] هم مشهور است، توسط آنی کنون[8] در سال ۱۹۱۸-۱۹۲۴ در رصدخانه دانشگاه هاروارد تنظیم شده است و در آن ۲۲۵۳۰۰ ستاره بر اساس بُعد ستاره تنظیم شده است. بعدها تعداد ستاره بیشتری توسط مکمل هنری دراپر به آن اضافه شد.

کاتالوگ BSC: در این کاتالوگ، ستارگان درخشان‌تر از قدر ۶/۵ با شماره‌گذاری که بر اساس افزایش بُعد ستاره زیاد می‌شود، مشخص شده است.

کاتالوگ HIP: این کاتالوگ شامل ۱۱۸۲۱۸ ستاره است که تا محدودهٔ قدر ۱۲ تهیه شده است. این کاتالوگ به عنوان کاتالوگ استاندارد کاربردهای اپتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاتالوگ Sky 2000: در این کاتالوگ مجموعه‌ای از ۳۰۰،۰۰۰ ستاره با اطلاعات پایه‌ای شامل زوایای بُعد و میل و موقعیت و قدر برای ستارگان با قدر کمتر از ۱۰ گردآوری شده است.

کاتالوگ SAO: اولین نسخهٔ این کاتالوگ در سال ۱۹۶۰ توسط رصدخانهٔ اسمیت سونیان[9] منتشر شد. این کاتالوگ برای ستارگان پرنور تهیه شده است.

6. Leland
7. Henry Draper
8 .Annie J. Cannon
9. Smithsonian

شاخص‌های انتخاب کاتالوگ ستارگان

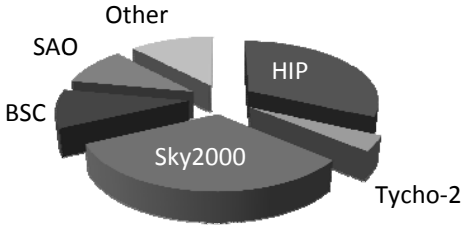
به‌منظور انتخاب کاتالوگ مناسب برای استفاده در سامانهٔ ردیاب ستاره نیاز به معرفی معیارهای مناسب است. این معیارها به ترتیب اهمیت معرفی می‌شوند.

تعدد کاربرد در حوزه‌های تحقیقاتی و عملیاتی

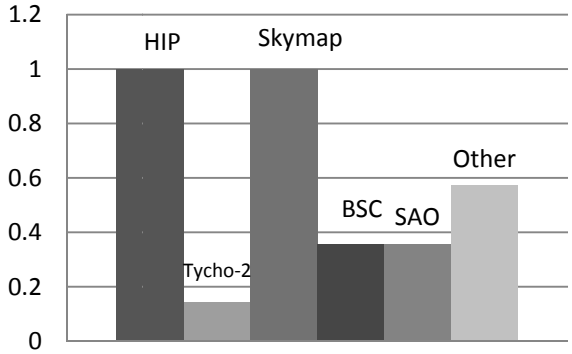
تعدد استفاده از یک کاتالوگ ستارهٔ خاص در کارهای تحقیقاتی و پژوهشی و همچنین کاربرد آن در ستاره‌یاب‌های عملیاتی می‌تواند به عنوان یکی از شاخص‌های انتخاب کاتالوگ مد نظر باشد. شکل (۲) توزیع استفاده از کاتالوگ‌های مختلف در ۱۵۰ عنوان مقاله، پایان‌نامه، نرم‌افزار و پروژه‌های کاربردی را نمایش می‌دهد.

همان‌طورکه مشاهده می‌شود بر اساس پژوهش‌های انجام شده در حیطهٔ سامانه‌های ستاره‌یاب، کاتالوگ‌های اسکای[10] ۲۰۰۰ و هیپارکوس[11] محبوبیت بیشتری نسبت به بقیه دارند.

برای امتیازدهی تعدد کاربرد کاتالوگ‌های مختلف، به بیشترین مراجعهٔ کاتالوگ نمره ۱ و به کم‌ترین مراجعه کاتالوگ نمره ۰/۵ تعلق می‌گیرد و امتیازات بقیهٔ کاتالوگ‌ها در این بازه توزیع می‌شوند. شکل (۳) توزیع امتیازات کاتالوگ‌های مختلف را نمایش می‌دهد.



شکل ۲- نرخ استفاده از کاتالوگ‌های مختلف



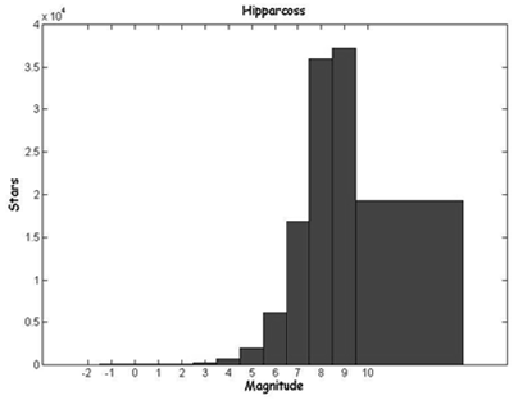
شکل ۳- امتیاز کاتالوگ‌های مختلف برمبنای تعدد کاربرد

10. Sky2000
11. Hipparcos

تعداد ستاره با قدر ۷ به پایین

تشخیص ستارگان توسط سامانهٔ ستاره‌یاب به ازای قدرهای بالاتر نیازمند سخت‌افزارهای پیچیده و پرهزینه‌ای است. لذا استفاده از قدرهای کمتر به معنی کم هزینه‌تر شدن بخش اپتیکی است. از سوی دیگر محدودکردن سامانه به قدرهای پایین باعث می‌شود در بعضی تصاویر به تعداد کافی ستاره برای شناسایی و تعیین وضعیت موجود نباشد. به همین دلیل استفاده از قدر ۷ به عنوان یک قدر میانه مرسوم است تا هم سخت‌افزار اپتیک چندان پیچیده نشود و هم الگوریتم شناسایی دچار اشکال نشود، در نتیجه چنانچه کاتالوگی تعداد ستارهٔ بیشتر در بازه قدر کم‌تر از ۷ داشته باشد فرایند تشخیص بهتر انجام می‌شود.

بدین منظور برای امتیازدهی کاتالوگ‌های مختلف، ابتدا هیستوگرام توزیع قدر ستارگان در بازهٔ قدر ۰ تا ۷ برای هر کاتالوگ (شکل ۴) تهیه شده است. جدول (۱) تعداد ستاره با قدر ۷ به پایین را برای کاتالوگ‌های معرفی شده نشان می‌دهد. با توجه به اطلاعات این جدول به بهترین کاتالوگ نمرهٔ ۱ و به نامطلوب ترین کاتالوگ نمرهٔ ۰/۵ تعلق می‌گیرد و امتیازات بقیهٔ کاتالوگ‌ها در این بازه توزیع می‌شود.



شکل ۴- هیستوگرام تعداد ستارگان با قدر کمتر از ۷

جدول ۱- تعداد ستاره تا قدر ۷ به تفکیک کاتالوگ

کاتالوگ	تعداد ستاره تا قدر ۷	امتیاز
هیپارکوس	۱۴۹۷۷	**۱**
تیکو ۲	۱۰۲۵۲	**۰/۶**
اسکای ۲۰۰۰	۹۵۸۷	**۰/۵۴۵**
بی اس سی	۹۰۴۶	**۰/۵**
سائو	۱۴۱۹۵	**۰/۹۳۴**

دقت کاتالوگ

تنوع اطلاعات ستارگان در یک کاتالوگ ممکن است به بیش از ۱۰۰ نوع برسد، در حالی‌که سامانهٔ ستاره‌یاب به همهٔ این اطلاعات نیاز ندارد و حداکثر ۱۰ نوع از این اطلاعات را لازم دارد. در نتیجه می‌توان با دسته‌بندی کاتالوگ‌ها نسبت به دقتی که برای هر نوع اطلاعات دارند، معیاری برای انتخاب کاتالوگ مناسب ارائه کرد.

به‌منظور ارزیابی دقت کاتالوگ‌های مختلف، به دقیق‌ترین کاتالوگ نمره ۱ و به کم دقت‌ترین کاتالوگ نمره ۰/۵ تعلق می‌گیرد. جدول (۲) دقت هر کاتالوگ را نشان می‌دهد:

جدول ۲- دقت موقعیت به تفکیک کاتالوگ‌ها

ردیف	کاتالوگ	دقت موقعیت	امتیاز
۱	هیپارکوس	۱ میلی ثانیه قوسی	**۱**
۲	تیکو ۲	۲۵ میلی ثانیه قوسی	**۰/۵۲**
۳	اسکای ۲۰۰۰	۲۰۰ میلی ثانیه قوسی	**۰/۵۱**
۴	بی‌اس‌سی	۱ ثانیه قوسی	**۰/۵**
۵	سائو	۱۸ میلی ثانیه قوسی	**۰/۵۳**

چگالی

یکی از مشخصه‌های هر کاتالوگ، پارامتر چگالی عددی است که پراکندگی تعداد ستاره را روی کرهٔ سماوی نشان می‌دهد. هر چه تعداد پراکندگی کمتر باشد تراکم ستارگان اضافی کمتر و در نتیجه زمان شناسایی و حجم محاسبات کمتر می‌شود.

$$\text{چگالی عددی} = \frac{\text{تعداد ستارگان کاتالوگ}}{\text{مساحت کل آسمان}}$$

جدول ۳- چگالی آسمان به تفکیک کاتالوگ‌های مختلف

ردیف	کاتالوگ	چگالی عددی	امتیاز
۱	هیپارکوس	۳	**۰/۵۵**
۲	تیکو ۲	۲۵	**۰/۵**
۳	اسکای ۲۰۰۰	۷	**۰/۶۲**
۴	بی اس سی	۰/۲	**۱**
۵	سائو	۶	**۰/۶۴**

برای امتیازدهی چگالی کاتالوگ‌های مختلف نیز همان روش قبلی استفاده شده است.

امکان دسترسی

یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی، امکان دسترسی به کاتالوگ‌های ستاره است. کاتالوگ‌های هیپارکوس و اسکای ۲۰۰۰، تیکو-۲، سائو-۲[12]، بی‌اس‌سی[13]، کاتالوگ‌هایی هستند که بدون پرداخت هزینه، دسترسی به آنها امکان‌پذیر است.

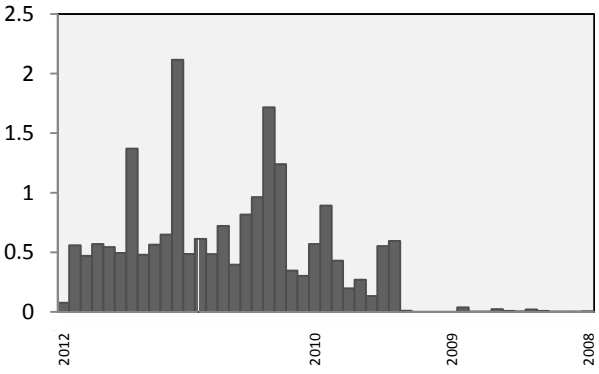
12. Smithsonian Astronomical Observatory
13. Bright Star Catalog

به‌منظور امتیازدهی با توجه به این موضوع که این معیار از دو حالت خارج نیست فقط ۲ نوع امتیاز برای این معیار درنظرگرفته می‌شود: امتیاز ۱ برای کاتالوگ‌های با دسترسی آسان و امتیاز ۰/۵ برای کاتالوگ‌های با عدم دسترسی آسان.

تعداد مراجعات

محبوبیت در استفاده می‌تواند بیانگر کارایی مناسب یک کاتالوگ ستاره باشد بر این اساس یکی از شاخص‌های مورد بررسی برای انتخاب کاتالوگ تعداد مراجعات است.

دانشگاه استراسبورگ فرانسه اقدام به انتشار نمودار تعداد مراجعات تمامی کاتالوگ‌های موجود کرده است. این دانشگاه در کنار هر کاتالوگ تعداد مراجعه را در طی سال‌های مختلف قید کرده که نتایج آن برای هر کاتالوگ در شکل (۵) مشاهده می‌شود. به عنوان مثال جدول (۴) بیشترین مراجعه برای هر کاتالوگ را در بین سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۶ نشان می‌دهد.



شکل ۵- تعداد مراجعات کاتالوگ هیپارکوس برحسب سال میلادی [۴]

جدول ۴- تعداد مراجعات به کاتالوگ‌های مختلف

ردیف	کاتالوگ	بیشترین مراجعه (مورد)	امتیاز
۱	هیپارکوس	۱،۷۰۰،۰۰۰	۱
۲	تیکو ۲	۲۰۰،۰۰۰	۰/۵۱
۳	اسکای ۲۰۰۰	۱۶۰،۰۰۰	۰/۵
۴	بی اس سی	۲۷۰،۰۰۰	۰/۵۳
۵	سائو	۱۶۰،۰۰۰	۰/۵

انتخاب کاتالوگ سامانهٔ ردیاب ستاره

به‌منظور انتخاب صحیح کاتالوگ ستارگان برای سامانهٔ ستاره‌یاب باید به مسئلهٔ هم‌وزن نبودن معیارهای معرفی شده توجه شود. وزن هر شاخص برای سامانه‌های مختلف در کشورهای مختلف می‌تواند متفاوت باشد. برای وزن‌دهی معیارهای مختلف، به مؤثرترین معیار وزن ۱ و به کم اثرترین معیار وزن ۰/۵ تعلق می‌گیرد.

نحوهٔ انتخاب وزن‌ها به صورت زیر است:

تعدد کاربرد در حوزه‌های تحقیقاتی و عملیاتی: کاربرد زیاد یک کاتالوگ در حوزه‌های مختلف عملیاتی و تحقیقاتی می‌تواند بیانگر ظرفیت بالای یک کاتالوگ باشد. بنابراین بیشترین وزن (وزن ۱) به این معیار تعلق می‌گیرد.

دقت کاتالوگ: خطای کاتالوگ در یک سیستم ردیاب ستاره نقش خطای سیستماتیک را ایفا می‌کند به این معنی که هر چه کاتالوگ دقیق‌تر باشد پاسخ سامانهٔ ردیاب ستاره دقیق‌تر خواهد بود. با توجه به اینکه در اینجا سامانه‌ای با دقت متوسط مدنظر است بنابراین وزن ۰/۸ به این معیار تعلق می‌گیرد.

تعداد ستاره با قدر کمتر از ۷: تکثر ستارگان با قدر ۷ به پایین در یک کاتالوگ، منجر می‌شود الگوریتم شناسایی وظیفهٔ خود را به راحتی و سریع‌تر انجام دهد. بنابراین استفاده از کاتالوگی که تعداد ستارگان با قدر پایین‌تر از ۷ (قدر مرزی) دارند، اهمیت ویژه‌ای داشته باشند. بنابراین وزن این معیار نیز برابر ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

چگالی: چگالی بالاتر به معنی تعداد بیشتر ستاره در هر فریم است، در نتیجه سرعت پردازش کاهش می‌یابد. به همین دلیل وزن این معیار برابر ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

امکان دسترسی: با توجه به این موضوع که امکان دسترسی به اکثر کاتالوگ‌ها وجود دارد اما ممکن است سهولت دسترسی برای آنها وجود نداشته باشد لذا وزن این معیار نیز برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

تعداد مراجعات: در نهایت کمترین وزن برای تعداد مراجعات درنظرگرفته شده است چراکه بسیاری از مراجعات به منظوری غیر از سامانهٔ ستاره‌یاب صورت می‌گیرد. بنابراین وزن انتخابی این معیار برابر ۰/۵ درنظرگرفته شده است.

جدول ۵- وزن‌دهی معیارهای مختلف

ردیف	معیار	وزن
۱	تعدد کاربرد	۱
۲	دقت کاتالوگ	۰/۸
۳	تعداد ستاره با قدر ۷ به پایین	۰/۸
۴	چگالی	۰/۸
۵	امکان دسترسی	۰/۵
۶	تعداد مراجعات	۰/۵

به‌منظور محاسبهٔ امتیاز مجموع هر کاتالوگ از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$N = \sum W \times S \qquad (۱)$$

که در آن W وزن هر معیار و S امتیاز هر کاتالوگ برای هر معیار است. نتایج امتیاز مجموع کاتالوگ‌های معرفی شده در جدول (۶) درج شده است.

جدول ۶- نتایج محاسبهٔ وزن مجموع

ردیف	کاتالوگ	وزن مجموع
۱	هیپارکوس	۴/۰۴
۲	تیکو ۲	۲/۹۵۱
۳	اسکای ۲۰۰۰	۳/۱۰۶
۴	بی اس سی	۲/۵۹
۵	سائو	۳/۰۴۲۲

همان‌طورکه مشاهده می‌شود ۳ کاتالوگ هیپارکوس، اسکای ۲۰۰۰ و سائو۱۴ بیشترین امتیاز را دارند. در نتیجه این ۳ کاتالوگ منتخب برای کار در سامانهٔ ردیاب ستاره معرفی می‌شوند.

معرفی کاتالوگ‌های منتخب

کاتالوگ‌های منتخب شامل هیپارکوس، اسکای ۲۰۰۰، و سائو است که در ادامه هریک توضیح داده می‌شوند.

کاتالوگ هیپارکوس

هیپارکوس، نام یکی از مأموریت‌های علمی آژانس فضایی اروپا (ESA) برای شناسایی موقعیت ستارگان است. مأموریت ماهوارهٔ هیپارکوس تعیین موقعیت، اختلاف منظر، حرکت خاص سالیانه برای ۱۰۰،۰۰۰ ستاره با دقت ۱۵ میلی ثانیه قوسی تعریف شده بود [۷].

طی این مأموریت ۱۱۸،۲۱۸ ستاره از سال ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۳ در کاتالوگی به همین نام جمع‌آوری شده و هر چند سال یکبار (بازهٔ ۱۰ ساله) با فرایند به‌روزرسانی به تعداد این ستارگان افزوده می‌شود [۶].

نسخهٔ دقیق کاتالوگ هیپارکوس در سال ۱۹۹۷ منتشر شد. همچنین نسخهٔ دوم که دقت کمتری دارد برای یک میلیون ستاره با عنوان کاتالوگ تیکو۱۵ در همان سال منتشر شد. در ادامه در سال ۲۰۰۰ میلادی کاتالوگ تیکو-۲ نیز که نسخهٔ تکامل‌یافتهٔ کاتالوگ تیکو محسوب می‌شود برای ۲/۵ میلیون ستاره و با دقت بهتر نسبت به نسخهٔ اصلی منتشر شد. بخشی از اطلاعات کاتالوگ هیپارکوس در شکل (۵) مشاهده می‌شود.

14. SAO
15.Tycho

کاتالوگ اسکال ۲۰۰۰

کاتالوگ اسکای ۲۰۰۰ از ابتدا به‌منظور کاربرد در زمینهٔ حسگرهای ستاره‌ای تهیه شد و اکنون با به‌روزرسانی در طی ۳۰ سال به یکی از کاتالوگ‌های استاندارد در این زمینه تبدیل شده است.

این کاتالوگ حاصل جمع‌آوری اطلاعات مختلف اعم از کاتالوگ‌های دیگر، اطلاعات ماهواره‌ها و ایستگاه‌های بین‌المللی است و به عنوان پروژه‌ای کامل مانند آنچه در کاتالوگ هیپارکوس انجام شد مطرح نیست [۸].

اولین نسخهٔ این کاتالوگ در سال ۱۹۷۰ تهیه و در طی سال‌های بعد تکمیل شد. نسخهٔ چهارم این کاتالوگ یکی از کاتالوگ‌های کامل و محبوب در بازه روشنایی کمتر از ۱۰ ارزیابی می‌شود [۹].

sky_id	ra	dec	magb	magv	magph
1326078	13:26:36.732	+47:25:22.68	10.22	9.62	10.00
1327049	13:27:17.842	+46:49:14.48	9.79	9.15	9.70
1327104	13:27:45.865	+47:45:30.48	10.28	9.18	10.10
1329005	13:29:01.514	+47:50:50.28	7.46	7.06	7.30
1331005	13:31:01.750	+47:42:29.88	10.18	9.61	10.00
1331135	13:31:56.347	+47:14:04.00	7.29	7.08	7.00

شکل ۶ – کاتالوگ اسکای ۲۰۰۰

کاتالوگ سائو (SAO)

اولین نسخهٔ این کاتالوگ را در سال ۱۹۶۰، رصدخانهٔ اسمیت سونیان[16] منتشر کرد. نسخهٔ ابتدایی این کاتالوگ برروی نوارهای مغناطیسی ثبت شده بود و تا به امروز که نسخهٔ چهارم آن منتشر شده یکی از محبوب‌ترین کاتالوگ‌ها از نظر تعداد مراجعات به شمار می‌رود، به‌نحوی‌که تعداد مراجعات به این کاتالوگ با کاتالوگ‌های جدیدی همچون تیکو-۲ برابری می‌کند.

مشخصات قید شده در این کاتالوگ عبارتند از: موقعیت ستاره (بر حسب زوایای بعد و میل)، حرکت خاص و انحراف معیار آن بر حسب مختصات مرجع J2000 و B1950 ، قدر [۱۰].

تهیهٔ کاتالوگ مأموریت

پس از انتخاب کاتالوگ مناسب، لازم است تا اطلاعات مورد نیاز سامانهٔ ستاره‌یاب با توجه به زمان استفاده به‌روزرسانی شوند، بدین منظور تصحیحات کاتالوگ به شرح زیر انجام می‌پذیرد:

16. Smithsonian

به‌روزرسانی موقعیت ستاره

اطلاعات موقعیت ستارگان در کاتالوگ نسبت به تاریخ ۱ ژانویه سال ۲۰۰۰ میلادی آماده‌سازی شده است. در نتیجه برای استفاده از اطلاعات کاتالوگ باید اطلاعات موقعیت آن به‌روزرسانی شود. بدین منظور از موارد زیر برای تصحیح موقعیت ستاره استفاده می‌شود:

حرکت خاص: جابه‌جایی نسبی یک ستاره نسبت به نقطهٔ ثابت مفروض در فضا را حرکت خاص می‌گویند. در کاتالوگ هیپارکوس مقدار این حرکت خاص برای میل و بعد ستاره با علائم PM_{RA}, PM_{DC} و با واحد میلی قوس‌ثانیه بر هر سال مشخص شده‌اند. به عنوان مثال ستارهٔ برنارد که بیشترین مقدار حرکت خاص در بین ستاره‌های دیگر است، حرکت خاص ۷۹۷/۸۴- میلی ثانیهٔ قوسی بر سال برای زاویهٔ میل و ۱۰۳۵۷/۷۰۴ میلی ثانیه قوسی بر سال برای زاویه بُعد دارد، این بدان معنی است که با گذشت هر سال از دورهٔ J2000، بعد این ستاره به اندازهٔ ۷۹۷.۸۴- میلی‌ثانیه قوسی کم شده و میل آن به اندازهٔ ۱۰۳۵۷.۷۰۴ میلی ثانیه قوسی افزایش می‌یابد. برای تصحیح موقعیت ستارگان برای حرکت خاص از فرمول (۲) استفاده می‌شود:

$$RA_{\text{update}} = RA_{\text{catalog}} + \mathrm{N}_{2000-2012}(\mathrm{Pm_{RA}} \times \tfrac{1}{60})$$
$$DC_{\text{update}} = DC_{\text{catalog}} + \mathrm{N}_{2000-2012}(\mathrm{Pm_{DC}} \times \tfrac{1}{60}) \qquad (۲)$$

جدول ۷- کاتالوگ هیپارکوس

Numebr	Descriptor : epoch J1991.25								Position ; epoch J1991.25						Par.	Proper Motion	
HIP	RA			Dec			V Mag		α Deg	(ICRS)			δ deg		π mass	μ_α	μ_δ
	h	m	s	± °	'	''										Mass/yr	
1	00	00	00.22	+01	05	20.4	9.10	H	0.000	911	85	+01.089	013	32	3.54	-5.20	-1.88
2	00	00	00.91	-19	29	55.8	9.27	G	0.003	797	37	-19.498	837	45	21.90	181.21	-0.93
3	00	00	01.20	+38	51	33.4	6.61	G	0.005	007	95	+38.859	286	08	2.81	5.24	-2.91
4	00	00	02.01	-51	53	36.8	8.06	H	0.008	381	70	-51.893	546	12	7.75	62.85	0.16

اختلاف منظر: اختلاف منظر یا تغییر موقعیت به‌واسطهٔ تغییر موقعیت ناظر بیشتر به دلیل حرکت زمین دور خورشید و همچنین حرکت زمین به دور خود ایجاد می‌شود. اختلاف منظر به دو دسته تقسیم می‌شود: دستهٔ اول که به دلیل حرکت زمین به دور خود است اختلاف منظر روزانه و دستهٔ دوم که به‌دلیل حرکت زمین به دور خورشید ایجاد می‌شود اختلاف منظر سالیانه است. تغییر در بعد و میل ستاره با درنظرگرفتن اثر اختلاف منظر توسط فرمول (۳) به‌دست می‌آید [۱۱]:

$$\Delta\alpha\cos\delta = \Pi(Y\cos\alpha - X\sin\alpha)$$
$$\Delta\delta = \Pi(Z\cos\delta - X\cos\alpha\sin\delta - Y\sin\alpha\sin\delta) \qquad (۳)$$

که در آن α میل ستاره X,Y,Z ضرایب مشخص و Π اختلاف منظر است که اطلاعات آن در کاتالوگ موجود است.

در نهایت با اضافه‌کردن تصحیحات ذکرشده به یکدیگر تصحیح مجموع برای موقعیت بعد و میل ستاره به‌دست می‌آید:

$$\Delta\alpha_T = \Delta\alpha_{Pm} + \Delta\alpha_{Pa}$$
$$\Delta\delta_T = \Delta\delta_{Pm} + \Delta\delta_{Pa} \qquad (۴)$$

نتیجه‌گیری

برای انتخاب کاتالوگ ستاره یک سامانهٔ ستاره‌یاب، تاکنون در مراجع هیچ روش مشخص و سیستماتیکی ارائه نشده است. در این پژوهش تلاش شده تا یک روش سیستماتیک برای انتخاب کاتالوگ مناسب با توجه به ویژگی‌های سخت‌افزاری، دقت و عملکرد سامانه ارائه گردد. در این راستا تدوین معیارهای مناسب برای انتخاب کاتالوگ مطلوب مدنظر قرارگرفته است.

بدین منظور ۶ معیار «تعدد کاربرد در حوزه‌های تحقیقاتی و عملیاتی»، «تعداد ستاره با قدر ۷ به پایین»، «دقت کاتالوگ»، «چگالی»، «امکان دسترسی» و «تعداد مراجعات» با توجه به نیازهای یک حسگر ستاره‌یاب تدوین شده‌اند. در ادامه با امتیازدهی کاتالوگ و وزن‌دهی هر کدام از معیارها، وزن مجموع هر کاتالوگ استخراج شد و در نهایت با مقایسهٔ وزن، مجموع هر کدام از کاتالوگ‌ها سه کاتالوگ هیپارکوس، اسکال ۲۰۰۰ و سائو ۳ کاتالوگی بودند که برای استفاده در سامانهٔ ردیاب ستاره انتخاب شدند. پس از انتخاب کاتالوگ‌های منتخب، برای استفاده از آنها،

اطلاعات این کاتالوگ‌ها توسط الگوریتم‌های به‌روزرسانی موقعیت تدوین شده است.

مراجع

[1] Roshanian, J., Yazdani, Sh., Hasani, S. M. and Ebrahimi, M., "Consideration on Actualizing the Non-Dimensional Star Pattern Recognition Algorithm for a Typical Laboratory Star Tracker," Journal of Space Science and Technology (JSST), Vol. 5, No. 2, Summer 2012, pp. 15-23.

[2] Cannata, M. N., Greene, M.R., Mulligann, J. S., Popovici, V., Quine, B. and Arjomandi, E., Autonomous Star Imaging Attitude Sensor, (Thesis M.Sc.) Faculty of Science and Engineering,York University, 2007, p. 12.

[3] Degani. H., *Astronomy Made Simple*, Doubleday & Company,1985.

[4] Seeds. M., *Foundations of Astronomy*, Wadsworth Inc, 1986.

[5] Zacharias, N., "Catalog Information and Recommendation," *U.S. Naval Observatory*, 2004, pp. 6,10,11.

[6] Availabel, [On line]: http://vizier.u-strasbg.fr/

[7] ESA Hipparcos Space Astrometry Mission, The Hipparcos and Tycho Catalogues, SP–1200, 1997, p. 235.

[8] Hipparcos Homepage (2010) URL: http://astro.estec.esa.nl/SA-general/Projects/ Hipparcos/catalog.html. (Cited Jan. 4, 2012.)

[9] Sande, C., "Recent Enchantmenet And Future Plans for The Sky2000 Star Cataloge," *Jaavso,*Vol. 29, 2001, p.356.

[10] Sky2000 Master Catalog, Version 2. Available, [on Line]: http://cheli.gsfc.nasa.gov/dist/attitude/SKYMAP_021201_page.html, 2001, pp. 13.

[11] Vedder, J., "Star Trackers, Star Catalogs, and Attitude Determination: Probabilistic Aspects of System Design," *Journal of Guidance, Contro1,and Dynamics*. Vol. 16, No.3, 1993, pp. 498-504.

[12] Smart. W. M., *TextBook on Spherical Astronomy*, Cambridge University Press, Edition 6, 1977.

[13] Malak, A. Samaan, Bruccoleri, Ch., Mortari, D. and Junkins, J., "Novel Techniques for Creating Nearly Uniform Star Catalog," *Texas A&M University*, Paper AAS03-609, pp. 4-6.