



شناسایی ستاره

روش‌ها، تکنیک‌ها و الگوریتم‌ها

نویسنده

گوانگژون ژانگ

مترجمان

علیرضا طلوعی، منا زاهدنمازی، احمد سلیمانی

پاییز ۱۴۰۲

سرشناسه: جانگ، گوانگجون، Zhang, Guangjun
عنوان و نام پدیدآور: شناسایی ستاره روشها، تکنیکها و الگوریتمها / نویسنده گوانگژون ژانگ؛ مترجمین
علیرضا طلوعی، منا زاهدنمازی، احمد سلیمانی.
مشخصات نشر: تهران: پژوهشگاه فضایی ایران، انتشارات، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری: ۲۹۰ص.
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۹۶۰۶۳-۶-۰
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: عنوان اصلی: Star identification : methods, techniques and algorithms, 2017.
موضوع: مهندسی هوا فضا، Aerospace engineering، ریاضیات کاربردی، Applied mathematics، فضاوردی،
Astronautics، ریاضیات مهندسی، Engineering mathematics، عکس پردازش، Image processing، نجوم -
رصدها، Astronomy - Observations، پردازش سیگنالها، Signal processing
شناسه افزوده: طلوعی، علیرضا، ۱۳۴۷-، مترجم
شناسه افزوده: زاهدنمازی، منا، ۱۳۶۷-، مترجم
شناسه افزوده: سلیمانی، احمد، ۱۳۶۵-، مترجم
شناسه افزوده: پژوهشگاه فضایی ایران. انتشارات
رده بندی کنگره: TL۵۰۹
رده بندی دیویی: ۱/۶۲۹
شماره کتابشناسی ملی: ۹۲۱۹۲۰۷



عنوان: شناسایی ستاره: روشها، تکنیکها و الگوریتمها

نویسنده: گوانگژون ژانگ

مترجمان: علیرضا طلوعی، منا زاهدنمازی، احمد سلیمانی

ویراستار: زهرا عشق آبادی

طرح روی جلد: لیلا کشاورز سیاهپوش

ناشر: پژوهشگاه فضایی ایران

نوبت چاپ: اول، ۱۴۰۲

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۹۶۰۶۳-۶-۰

موافقت اصولی با انتشار کتاب شناسایی ستاره: روشها، تکنیکها و الگوریتمها، در جلسه نود و سوم شورای تخصصی پژوهش و فناوری پژوهشگاه فضایی ایران به تاریخ ۱۴۰۰/۰۴/۰۷، انجام شد. داوری این اثر را دکتر جواد حق شناس و دکتر یاسر صفار، عضو هیات علمی پژوهشگاه فضایی ایران و دکتر علیرضا بهراد، عضو هیات علمی دانشگاه شاهد بر عهده داشته‌اند.
حق چاپ مجدد برای پژوهشگاه فضایی ایران محفوظ است.

پژوهشگاه فضایی ایران: تهران، طرشت، بلوار شهید تیموری، نرسیده به بزرگراه شیخ فضل‌اله نوری، شماره ۱۸۲

کدپستی: ۱۴۵۹۷۷۷۵۱۱ تلفن: (۴۴-۴۹-۶۸) ۶۶۰۶۵۰۳۰ شماره: ۶۶۰۰۸۶۱۵

www.isrc.ac.ir

پیش‌گفتار مترجمان

با عنایت خداوند منان کتابی که در دسترس عموم دانشجویان عزیز و متخصصان صنعت فضایی قرار می‌گیرد، ترجمه کتابی است از پروفیسور گوانگژون ژانگ به نام شناسایی ستاره؛ روش‌ها، تکنیک‌ها و الگوریتم‌ها. حسگر ستاره در مقایسه با سایر حسگرهای وضعیت، فناوری جوان‌تری است. تعداد کشورهایی که این فناوری را برای کاربردهای فضایی خود به کار گرفته‌اند، به چند کشور محدود می‌شود و تعداد افراد متخصص در زمینه این حسگر در مقایسه با سایر حسگرهای ناوبری کم‌تر است.

کتاب حاضر از معدود کتاب‌های تألیف شده در زمینه حسگر ستاره بوده که حاصل بیش از ده سال فعالیت نویسنده و تیم تحقیقاتی وی در زمینه حسگر ستاره است. این کتاب در سال ۲۰۱۷ توسط انتشارات اشپرینگر به چاپ رسیده است.

این کتاب، بیش‌تر بر الگوریتم‌های شناسایی ستاره متمرکز است؛ اما فصل‌هایی نیز به یکنواخت‌سازی فهرست ستارگان، پردازش تصویر و پیاده‌سازی حسگر ستاره اختصاص داده شده است. نویسنده در این کتاب، تنها به گردآوری و ارائه اطلاعات نپرداخته بلکه تمامی الگوریتم‌های معرفی شده در کتاب را که برخی از آن‌ها توسط شخص نویسنده پیشنهاد شده، شبیه‌سازی نموده و نتایج را با الگوریتم‌های دیگر مقایسه کرده است.

کتاب حاضر برای تمامی دانشجویان کارشناسی، کارشناسی ارشد، دکتری و متخصصان رشته مهندسی برق، مهندسی مکانیک و به‌ویژه مهندسی هوافضا، کاربردی است و مطالعه آن به تمامی پژوهشگران و علاقه‌مندان این حوزه پیشنهاد می‌شود. امیدواریم با ترجمه این کتاب، خلاء ناشی از کمبود کتاب مرجع در این زمینه تا اندازه‌ای پر کرده باشیم و توانسته باشیم دین خود را به علاقه‌مندان این رشته، به‌ویژه دانشجویان و پژوهشگران عزیز، ادا کنیم.

از استادان ارجمند، دانشجویان گرامی و دیگر علاقه‌مندان محترم که این کتاب را برای مطالعه انتخاب می‌کنند، استدعا داریم، برای رفع اشکال‌های احتمالی و نواقص موجود، ما را یاری دهند و دیدگاه‌ها و پیشنهادهای سازنده خود را به نشانی الکترونیکی toloei@sbu.ac.ir ارسال کنند. در پایان از همه دست‌اندرکاران که فرایند ویرایش و چاپ و نشر این کتاب را به نحو احسن انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌کنیم.

علیرضا طلوعی، منا زاهدنمازی، احمد سلیمانی

پاییز ۱۴۰۲

پیش‌گفتار نویسنده

اندازه‌گیری وضعیت، مسأله‌ای کلیدی و حیاتی برای ماهواره است. حساسیت این مسأله به قدری است که مباحثی مانند ورود و انتقال مداری دقیق، کیفیت بالای عملکرد ماهواره، ارتباط مطمئن فضا با زمین، مشاهده زمین با کیفیت بالا و اتمام موفقیت‌آمیز دیگر مأموریت‌های فضایی را تضمین می‌نماید. حسگر ستاره یکی از ادوات مهم برای اندازه‌گیری وضعیت خودکار و باکیفیت برای ماهواره‌های در مدار است که مبنای آن‌ها مشاهده ستارگان است. با فرض بهره‌مندی از اطلاعات نجومی ستارگان، حسگر ستاره دارای ویژگی‌هایی، مانند عملکرد خودکار، دقت بالا و قابلیت اطمینان بالا بوده و می‌تواند به‌طور گسترده در ناوبری سماوی به‌کار گرفته شود. حسگرهای ستاره در دو حالت فعالیت می‌کنند: استقرار وضعیت اولیه و ردیابی. حالت استقرار وضعیت اولیه، زمانی است که حسگر ستاره تازه شروع به کار کرده یا به‌دلایلی آگاهی لازم از وضعیت پیشین خود را از دست داده باشد. در این حالت، نیاز به شناسایی ستاره در سرتاسر آسمان است؛ زیرا هیچ‌گونه اطلاعاتی از وضعیت، موجود نیست. به‌محض استقرار وضعیت اولیه، حسگر ستاره وارد حالت ردیابی می‌شود. شناسایی ستاره خودکار بوده و در سرتاسر آسمان، کلید توسعه فناوری حسگرهای ستاره به شمار می‌آید که البته با مشکلات بسیاری روبه‌روست؛ از این‌رو، تحقیقات گسترده‌ای بر این موضوع متمرکز هستند. شناسایی ستاره یک موضوع بین‌رشته‌ای و مرتبط با نجوم، پردازش تصویر، تشخیص الگو، پردازش سیگنال و داده‌ها، علم رایانه و بسیاری زمینه‌های مطالعاتی دیگر است. این کتاب، گردآوری و تدوین نتیجه پژوهش‌هایی است که گروهی با راهنمایی نویسنده برای مدت بیش از ده سال روی این موضوع خاص انجام داده‌اند و شامل ۷ فصل است: اصول اولیه شناسایی ستاره، فهرست ستارگان و پردازش تصویر ستاره، اصول و پردازش الگوریتم‌ها و اجرای سخت‌افزاری و آزمایش عملکرد. فصل اول یک مقدمه کلی است که اصول اولیه در ناوبری سماوی و توضیح پیرامون روش کار حسگر ستاره و شناسایی ستاره و مروری بر الگوریتم‌های مورد استفاده برای شناسایی ستاره و اهداف توسعه در این موضوع را پوشش می‌دهد. فصل دوم به اصول مقدماتی در مبحث شناسایی ستاره می‌پردازد و فرایندهایی مانند فهرست‌بندی ستارگان، انتخاب ستاره‌های راهنما، پردازش دو-ستاره‌ها، شبیه‌سازی تصویر ستاره، مرکزیابی نقطه ستاره و کالیبراسیون و خطای مرکزیابی را تشریح می‌نماید. فصل سوم نیز به‌طور خلاصه به شناسایی ستاره با استفاده از الگوریتم‌های مثلثی با تأکید بر دو نمونه اصلاح شده می‌پردازد که با نام‌های تطبیق فاصله زاویه‌ای و بردار "P" شناخته می‌شوند. فصل چهارم بر مبحث شناسایی ستاره با بهره‌گیری از الگوهای ستاره‌ای متمرکز است که شناسایی ستاره با استفاده از الگوهای ستاره‌ای شعاعی و چرخه‌ای با روش تبدیل لگاریتم-قطبی و همچنین بدون پارامترهای کالیبراسیون را دربر می‌گیرد. فصل پنجم نیز به اصول حاکم بر الگوریتم‌های شناسایی با استفاده از شبکه‌های عصبی می‌پردازد. در همین راستا، در این کتاب

دو روش ارائه شده است: شناسایی ستاره بر مبنای شبکه‌های عصبی با استفاده از ویژگی‌های ماتریس بردار ستاره و شناسایی ستاره با استفاده از ویژگی‌های ترکیبی. در فصل ششم، روش ردیابی سریع ستاره با استفاده از تطبیق ستاره میان چارچوب‌های همجوار معرفی شده و حالت‌های مختلف ردیابی در حسگر ستاره را تشریح می‌نماید. در همین فصل نیز الگوریتم‌های متفاوت در ردیابی ستاره همراه با نتایج شبیه‌سازی ارائه شده و سپس مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته‌اند. در فصل هفتم نیز با در نظر گرفتن سی‌پی‌یو RISC به عنوان یک مثال، به پیاده‌سازی سخت‌افزاری، آزمایش شبیه‌سازی سخت‌افزار در حلقه و آزمایش میدانی شناسایی ستاره پرداخته می‌شود.

برای سال‌های متمادی، گروه تحقیقاتی نویسنده، از محل کمک هزینه‌های تحقیقاتی برنامه‌های صلح‌آمیز فضایی، بنیاد ملی علوم طبیعی چین^۱، برنامه‌های ملی چین برای تحقیق و توسعه فناوری‌های رده بالا (۸۶۳ برنامه) و پروژه‌های مهندسی فضایی بهره‌مند بوده و از سوی آن‌ها پشتیبانی می‌شده‌اند. نویسنده قدردانی خود را برای حمایت گروه علوم، فناوری و کنترل کیفیت کمیسیون دولتی پیشین علوم، فناوری و صنعت در دفاع ملی^۲، بنیاد ملی علوم طبیعی چین، گروه توسعه و صنعتی‌سازی فناوری‌های نوظهور و رده بالای وزارت علوم، تحقیقات و فناوری چین و نیز آکادمی فناوری پرواز فضایی شانگهای^۳ اعلام می‌دارد. این کتاب حاصل سال‌ها پژوهش در زمینه «شناسایی ستاره» توسط نویسنده و گروه تحقیقاتی ایشان است. همچنین نویسنده قدردانی خود را از افراد زیر که در تیم تحقیقاتی ایشان بودند، اعلام می‌دارد: ژینگو وی، جی جیانگ، ژیاویون فن، ژواتائو هائو، جیان یانگ، جوآن شِن، ژیاو لی و افراد دیگری که در بسیاری از موضوع‌های معرفی شده در این کتاب مشارکت داشته‌اند. مستندات ارائه شده و مراجع نیز فهرست شده‌اند تا خوانندگان علاقه‌مند بتوانند برای اطلاعات بیش‌تر به آن‌ها مراجعه کنند.

فرایند شناسایی ستاره دربرگیرنده طیف وسیعی از موضوع‌ها بوده و به بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی مرتبط است، از این‌رو، امکان پوشش تمام مباحث در این کتاب وجود ندارد.

گوانگژون ژانگ^۴

1 National Natural Science Foundation of China

2 Commission of Science, Technology and Industry for National Defense

3 Shanghai Academy of Spaceflight Technology

4 Guangjun Zhang

فهرست مطالب

فصل ۱. مقدمه	۱
۱.۱. دانش پایه ستاره‌شناسی	۲
۱.۱.۱. ویژگی‌های ستارگان	۲
۲.۱.۱. منبع نقطه‌ای و چارچوب مرجع آن	۴
۳.۱.۱. فهرست ستاره	۶
۲.۱. مقدمه‌ای بر ناوبری سماوی	۸
۱.۲.۱. اصول ابتدایی ناوبری سماوی	۸
۳.۱. مقدمه‌ای بر فناوری حسگر ستاره	۱۴
۱.۳.۱. اصول عملیاتی حسگر ستاره و ساختمان آن	۱۵
۲.۳.۱. وضعیت فعلی فناوری حسگرهای ستاره	۱۸
۴.۱. مقدمه‌ای بر شناسایی ستاره‌ها	۲۵
۱.۴.۱. اصول شناسایی ستاره	۲۶
۳.۴.۱. ارزیابی شناسایی ستاره	۳۰
۵.۱. الگوریتم‌های شناسایی ستاره و روند توسعه آن‌ها	۳۲
۱.۵.۱. الگوریتم‌های هندسی	۳۳
۲.۵.۱. الگوریتم‌های دسته‌شناسایی الگوی ستاره	۳۶
۵.۳.۱. الگوریتم‌های دیگر	۳۹
۴.۵.۱. روند توسعه الگوریتم‌های شناسایی ستاره	۴۲
۶.۱. اهداف کتاب	۴۳
مراجع	۴۴
فصل ۲. پردازش فهرست ستارگان و تصویر ستاره	۴۷
۱.۲. بخش‌بندی فهرست ستاره	۴۹
۱.۱.۲. فهرست ستارگان راهنما	۵۰
۲.۱.۲. روش‌های موجود برای بخش‌بندی فهرست ستاره	۵۱
۳.۱.۲. بخش‌بندی فهرست ستاره با روش مکعب محاط	۵۳
۲.۲. انتخاب ستاره راهنما و پردازش دو-ستاره	۵۶
۱.۲.۲. انتخاب ستاره راهنما	۵۶
۲.۲.۲. پردازش دو-ستاره‌ها	۶۰
۳.۲. شبیه‌سازی تصویر ستاره	۶۳
۱.۳.۲. مدل تصویر برای حسگر ستاره	۶۴
۲.۳.۲. ترکیب تصویر ستاره‌ای دیجیتال	۶۹

۷۲	۴.۲. مرکزیابی نقطه ستاره
۷۳	۱.۴.۲. پیش‌پردازش تصویر ستاره
۷۶	۲.۴.۲. روش‌های مرکزیابی
۸۰	۳.۴.۲. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج
۸۴	۵.۲. کالیبراسیون خطای مرکزیابی
۸۵	۱.۵.۲. خطای فرکانس پیکسل مرکزیابی نقطه ستاره
۸۹	۲.۵.۲. مدل‌سازی خطای فرکانس پیکسل
۸۹	۳.۵.۲. کالیبراسیون خطای فرکانس پیکسل
۹۱	مراجع
۹۳	فصل ۳. شناسایی ستاره با استفاده از الگوریتم‌های اصلاح شده مثلث
۹۶	۱.۳. الگوریتم‌های فعلی مثلث
۹۶	۱.۱.۳. اصول اساسی الگوریتم مثلث
۹۹	۲.۱.۳. مشکلات الگوریتم مثلث
۱۰۱	۲.۳. الگوریتم اصلاح شده مثلث با استفاده از روش تطبیق فاصله زاویه‌ای
۱۰۲	۱.۲.۳. تولید و ذخیره‌سازی زوج ستاره‌ها
۱۰۴	۲.۲.۳. انتخاب مثلث‌های اندازه‌گیری شده
۱۰۶	۳.۲.۳. شناسایی مثلث‌های اندازه‌گیری شده
۱۱۲	۵.۲.۳. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج
۱۱۸	۳.۳. الگوریتم اصلاح شده مثلث با استفاده از بردار P
۱۱۹	۱.۳.۳. ساخت بردار P
۱۲۴	۲.۳.۳. ساخت یک پایگاه داده راهنما
۱۲۶	۳.۳.۳. تطبیق و شناسایی
۱۳۰	۴.۳.۳. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج
۱۳۴	مراجع
۱۳۵	فصل ۴. شناسایی ستاره با استفاده از الگوهای ستاره‌ای
۱۳۷	۱.۴. مقدمه‌ای بر الگوریتم شبکه
۱۳۸	۱.۱.۴. اصول الگوریتم شبکه
۱۴۰	۲.۱.۴. نواقص الگوریتم شبکه
۱۴۲	۱.۲.۴. تولید و ذخیره‌سازی الگوهای ستاره‌ای
۱۴۷	۲.۲.۴. فرایند شناسایی
۱۵۰	۳.۲.۴. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج
۱۵۶	۳.۴. شناسایی ستاره با استفاده از روش تبدیل لگاریتمی-قطبی

۱۵۷	۱.۳.۴. اصول تبدیل لگاریتمی-قطبی
۱۵۹	۴.۳.۲. ایجاد الگوی ستاره با استفاده از تبدیل لگاریتمی-قطبی
۱۶۲	۴.۳.۳. تشخیص و کدگذاری رشته‌های الگوی ستاره‌ای
۱۶۹	۴.۳.۴. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج
۱۷۴	۴.۴. شناسایی ستاره بدون پارامترهای کالیبراسیون
۱۷۴	۱.۴.۴. تأثیر پارامترهای ذاتی حسگر ستاره بر شناسایی ستاره
۱۷۷	۲.۴.۴. استخراج الگوهای مشخصه مستقل از پارامترهای کالیبراسیون
۱۸۱	۳.۴.۴. تطبیق و شناسایی
۱۸۴	۴.۴.۴. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج
۱۹۳	مراجع
۱۹۵	فصل ۵. شناسایی ستاره با استفاده از شبکه‌های عصبی
۱۹۸	۱.۵. مقدمه‌ای بر شبکه‌های عصبی
۱۹۸	۱.۱.۵. مفاهیم اساسی شبکه‌های عصبی
۲۰۰	۲.۱.۵. ویژگی‌های اساسی شبکه‌های عصبی
۲۰۲	۳.۱.۵. اصول اساسی شبکه‌های عصبی
۲۰۵	۲.۵. شناسایی ستاره با استفاده از شبکه‌های عصبی، مبتنی بر ویژگی‌های ماتریس بردار ستاره
۲۰۵	۱.۲.۵. شبکه‌های عصبی رقابتی خود-سازماندهنده
۲۰۷	۲.۲.۵. استخراج و ذخیره‌سازی الگوهای ستاره راهنما
۲۱۲	۳.۲.۵. ساخت شبکه‌های عصبی رقابتی خود-سازماندهنده
۲۱۶	۴.۲.۵. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج
۲۲۰	۳.۵. شناسایی ستاره با استفاده از شبکه‌های عصبی و براساس ویژگی‌های ترکیبی
۲۲۱	۱.۳.۵. ساخت شبکه‌های عصبی رقابتی
۲۲۳	۲.۳.۵. استخراج و شناسایی بردارهای الگوی ستاره
۲۲۵	۳.۳.۵. شبیه‌سازی و تحلیل نتایج
۲۲۶	مراجع
۲۲۷	فصل ۶. ردیابی سریع ستارگان با استفاده از تطبیق نقطه‌ای ستاره بین چارچوب‌های همجوار
۲۲۹	۱.۶. حالت ردیابی در حسگر ستاره
۲۲۹	۱.۱.۶. اصول ردیابی ستاره
۲۳۱	۲.۱.۶. ویژگی‌های ردیابی ستاره
۲۳۲	۳.۱.۶. الگوریتم‌های فعلی ردیابی ستاره
۲۳۳	۲.۶. الگوریتم ردیابی سریع ستارگان با استفاده از تطبیق نقطه‌ای ستاره بین چارچوب‌های همجوار
۲۳۳	۱.۲.۶. اصول اولیه الگوریتم ردیابی ستاره

۲۳۸	..... نمایه‌سازی ستارهٔ راهنما با استفاده از بخش‌بندی فهرست ستارگان
۲۳۹	..... نگاشت آستانه
۲۴۱	..... مرتب‌سازی پیش از انطباق و شناسایی
۲۴۳	..... پیش‌بینی موقعیت نقطهٔ ستاره
۲۴۴	..... شبیه‌سازی‌ها و آنالیز نتایج
۲۴۵	..... ۱.۳.۶ انتخاب پارامترهای ردیابی ستاره
۲۴۹	..... ۲.۳.۶ تأثیر نویز موقعیت ستاره بر ردیابی ستاره
۲۵۱	..... ۳.۳.۶ تأثیر حرکت وضعیت حسگر ستاره بر ردیابی ستاره
۲۵۳	..... ۴.۳.۶ سرعت ردیابی ستاره
۲۵۴	..... مراجع
۲۵۵	..... فصل ۷. پیاده‌سازی سخت‌افزار و تست عملکرد شناسایی ستاره
۲۵۸	..... ۱.۱.۷ طراحی ساختاری کلی مدار پردازش داده RISC
۲۶۰	..... ۲.۱.۷ انتخاب اجزای الکترونیکی اصلی
۲۶۲	..... ۳.۱.۷ طراحی سخت‌افزاری مدار پردازش داده RISC
۲۶۶	..... ۴.۱.۷ طراحی نرم‌افزار مدار پردازش داده RISC
۲۶۹	..... ۲.۷ آزمایش شبیه‌سازی سخت‌افزار در حلقهٔ شناسایی ستاره
۲۶۹	..... ۱.۲.۷ پیکربندی سیستم آزمایش و روش‌های آزمایش
۲۷۱	..... ۲.۲.۷ آزمون عملکرد شناسایی ستاره و ردیابی ستاره
۲۷۵	..... ۳.۲.۷ زمان صرف شده برای شناسایی ستاره در سرتاسر آسمان
۲۷۵	..... ۴.۲.۷ نرخ به‌روز رسانی داده‌های وضعیت
۲۷۶	..... ۳.۷ آزمایش میدانی شناسایی ستاره
۲۷۷	..... ۱.۳.۷ شناسایی دستی ستاره با استفاده از Skymap
۲۸۲	..... ۲.۳.۷ آزمون عملکرد شناسایی ستاره و ردیابی ستاره
۲۸۵	..... مراجع
۲۸۷	..... واژه نامه

فصل اول

مقدمه

وجود سامانه‌های ناوبری برای فضاپیما لازم و ضروری است. وظیفه اصلی یک سامانه ناوبری، هدایت فضاپیما به مقصد آن با پیروی از مسیرهای از پیش تعیین شده با دقت مشخص و در یک زمان معین است. برای دستیابی به این هدف، سامانه باید پارامترهای ناوبری شامل آزیموت، سرعت، موقعیت و... را به‌طور دقیق بیابد. این پارامترها را می‌توان با استفاده از تکنیک‌ها و اصول فیزیکی گوناگونی به دست آورد؛ از این‌رو انواع مختلفی از سامانه‌های ناوبری وجود دارد [۱، ۲]. سامانه‌های ناوبری رادیویی، اینرسی، ماهواره‌ای، تطبیق زمین، تطبیق منظره، سماوی و سامانه‌های ناوبری تلفیقی که ترکیبی از چندین سامانه ناوبری است، از این جمله‌اند.

سامانه‌های ناوبری رادیویی، سامانه‌های ناوبری اینرسی، سامانه‌های ناوبری ماهواره‌ای، سامانه‌های ناوبری تطبیق زمین، سامانه‌های ناوبری تطبیق منظره، سامانه‌های ناوبری سماوی و سامانه‌های ناوبری تلفیقی که ترکیبی از چندین سامانه ناوبری است، از این جمله‌اند.

بر مبنای موقعیت‌های مختصاتی مشخص و قوانین حرکت اجرام سماوی، ناوبری سماوی از مختصات نجومی شیء مشاهده شده برای تعیین موقعیت جغرافیایی و سایر پارامترهای ناوبری فضاپیما استفاده می‌کند. ناوبری سماوی برای هواپیماهایی که در جو زمین حرکت می‌کنند، کاربردی نیست؛ زیرا آن‌ها تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی قرار دارند؛ اما برای وسایل متحرکی که وارد جو رقیق می‌شوند و یا در ارتفاع بالاتر از ۸۰۰۰ متری از سطح زمین حرکت می‌کنند، اطلاعات به‌دست آمده از سامانه‌های ناوبری سماوی کاملاً قابل اطمینان است. متفاوت از سایر فناوری‌های ناوبری، ناوبری سماوی خودکار است و به تجهیزات زمینی نیاز ندارد، تحت تأثیر تداخل امواج الکترومغناطیسی طبیعی یا مصنوعی قرار نمی‌گیرد و انرژی به خارج، ساطع نمی‌کند. همچنین سامانه سماوی به‌خوبی پنهان می‌شود و در تعیین وضعیت، جهت‌گیری و تعیین موقعیت فضاپیما بسیار دقیق عمل می‌کند و مدت‌زمان ناوبری در آن نیز به خطاهای موقعیت‌یابی، ارتباطی ندارد. در حالت کلی و با توجه به کاربردهای آن، ناوبری سماوی یک سامانه بسیار خوب ارزیابی می‌شود.

در این بخش، ابتدا دانش بنیادین نجومی و اصول ناوبری سماوی معرفی می‌شوند. بخش دوم به‌طور خلاصه، فناوری حسگرهای ستاره و شناسایی ستاره را بیان می‌کند. الگوریتم‌های شناسایی ستاره و روند توسعه آن‌ها نیز در این بخش بیان می‌شود. سپس هر فصل کتاب به‌طور خلاصه معرفی خواهد شد.

۱.۱. دانش پایه ستاره‌شناسی

ناوبری سماوی بر مبنای اطلاعات سماوی به دست آمده از حسگرهای سماوی عمل می‌کند که دانشی اولیه از مشخصات و قوانین حرکت اجرام سماوی، پیش‌نیاز آن است؛ بنابراین دانش اولیه از مشخصات و قوانین حرکت اجرام سماوی برای مطالعه ناوبری سماوی ضروری است. در این بخش اطلاعات نجومی مرتبط با حسگرهای ستاره و شناسایی ستاره معرفی می‌شوند.

۱.۱.۱. ویژگی‌های ستارگان

ناوبری سماوی، اجرام سماوی را مشاهده می‌کند. در میان اجرام مشاهده شده، ستارگان اهمیت بیشتری دارند؛ بنابراین درک اساسی از ویژگی‌های ستارگان ضرورت دارد که در ادامه خلاصه‌ای از آن بیان شده است [۴،۳]:

۱. فاصله ستارگان: ستارگان در فاصله بسیار زیادی از زمین قرار دارند. به جز خورشید، نزدیک‌ترین ستاره به زمین، قنطورس^۱ نام دارد و در فاصله ۴/۲۲ سال نوری از زمین قرار گرفته است؛ بنابراین در ناوبری سماوی، می‌توان ستارگان را به‌عنوان اجرام سماوی در فاصله بی‌نهایت در نظر گرفت.

۲. سرعت ستارگان: ستارگان که به‌عنوان ستارگان ثابت نیز شناخته شده‌اند، معمولاً ساکن در نظر گرفته می‌شوند. در واقع ستارگان با سرعت بالایی مدام در فضا حرکت می‌کنند. سرعت ستاره را می‌توان به سرعت شعاعی و سرعت مماسی تجزیه نمود. سرعت شعاعی به مؤلفه اندازه‌گیری شده در راستای خط دید مشاهده‌گر اشاره دارد (مثبت هنگامی که جسم مشاهده شده از مشاهده‌گر دور می‌شود و منفی هنگامی که به طرف مشاهده‌گر حرکت می‌کند). سرعت مماسی، مؤلفه مشاهده شده در راستای خط عمود بر خط دید مشاهده‌گر است. سرعت مماسی معمولاً با جابه‌جایی ستاره‌ها در کره سماوی نشان داده می‌شود. نگرانی ما معمولاً این جابه‌جایی ستاره‌هاست که به‌عنوان حرکت مخصوص شناخته می‌شود. سرعت ستاره‌ها (حرکت مخصوص) معمولاً کم‌تر از ۰/۱ ثانیه قوسی در سال است. تاکنون فقط ۴۰۰ ستاره با حرکتی بیش از ۱ ثانیه قوسی در سال شناخته شده‌اند.

۳. روشنایی ستارگان: به‌عنوان یک ویژگی ذاتی، ستارگان از خود نور مرئی ساطع می‌کنند. روشنایی یک ستاره به روشنایی ظاهری آن که از سطح زمین قابل مشاهده است، اطلاق

1 Centaurus

می‌شود. این ویژگی تحت تأثیر درخشش (ناشی از دما و اندازه ستاره) و فاصله آن از زمین قرار دارد. در نجوم، درجه روشنایی یک ستاره با واحد "قدر" (قدر ظاهری، M_v) اندازه‌گیری می‌شود. هر چه اندازه قدر کوچک‌تر باشد، ستاره روشن‌تر است. یک واحد کاهش در قدر، معادل افزایش روشنایی به میزان $2/512$ برابر است. روشنایی ستاره‌ای با قدر ۱ حدود ۱۰۰ برابر بیش‌تر از روشنایی یک ستاره با قدر ۶ است. در ابتدا دو ستاره دبران^۱ (آلفا تائوری^۲) و الطیر^۳ به عنوان ستارگان استاندارد برای قدر $1/0$ انتخاب شدند. سپس وگا^۴ به عنوان ستاره استاندارد برای قدر $0/0$ انتخاب و قدر دیگر ستارگان با توجه به قدر این ستاره مشخص شد. جدول ۱-۱ قدر ظاهری برخی اجرام سماوی مشهور را نشان می‌دهد. ستارگان با قدر ۶ یا روشن‌تر را می‌توان با چشم غیرمسلح مشاهده نمود. ستارگان با قدر ۱۰ و روشن‌تر با تلسکوپ‌های نجومی قابل مشاهده‌اند.

تلسکوپ فضایی هابل می‌تواند ستارگان تا قدر ۳۰ را نیز اندازه‌گیری کند.

جدول ۱-۱- قدر ظاهری برخی اجرام سماوی شناخته شده

جرم سماوی	قدر
خورشید	-۲۶/۵
ماه (ماه کامل)	-۱۲/۵
زهره (درخشان‌ترین حالت)	-۴
ستاره شباهنگ	-۱/۴۶
ستاره قطبی	۲/۰۲

۴. اندازه ستارگان: ستارگان در اندازه‌های متنوعی وجود دارند. با این وجود هنگامی که از سطح زمین مشاهده می‌شوند، زاویای میدانی آن‌ها بسیار کوچک‌تر از ۱ ثانیه قوسی است که در نظر گرفتن ستارگان را به عنوان منبع نقطه‌ای نور امکان‌پذیر می‌سازد.

جمع‌بندی این که، در نوبری سماوی، می‌توان ستارگان را به عنوان منابع نقطه‌ای نسبتاً ساکن نور با ویژگی‌های طیفی خاص و در فاصله بی‌نهایت در نظر گرفت.

1 Aldebaran
2 Alpha (α) Tauri
3 Altair
4 Vega