

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اصول ناوبری اینرسی دقیق

FUNDAMENTALS OF HIGH ACCURACY INERTIAL NAVIGATION

BY: Averil B. Chatfield

نویسنده

آوریل ب. چتفیلد

مترجم

مهدی معصومین

- Averil B. Chatfield : جتفیلڈ، آوریل بی۔

: اصول ناوبری اینرسی دقیق / نویسنده: آوریل ب. چتفیلد؛ مترجم: مهدی معصومین؛

تهران: گلشنج، ۱۳۹۷

: ۳۸۰ ص؛ مصور، جدول، نمودار

9VA-9.-9A5A.-9-F:

فيا:

FUNDAMENTALS OF HIGH ACCURACY INERTIAL : عنوان اصلي :

NAVIGATION,

کتابنامہ :

ناوبری اینرسی

Inertial navigation:

: معصومین، مهدی، ۱۳۶۶ - مترجم

۱۳۷: الف ۲ج/۵/۵۷۱ VK

629/1311:

~~SECRET~~

اصول ناوبری ایروسی خیق

نویسنده: آوریل ب. چٹفیلڈ

مترجم: مهدی معصومین

ناشر: گلسنج

جواب اول

۵۰۰ نسخه

۱۳۹۷ هـ. ش.

قیمت: ۴۰۰,۰۰۰ ریال



بست الکترونیک: nashrgolsanj@gmail.com

تلفکس: ۰۲۱۲۶۷۵۰۸۲۸

موبائل: ۰۹۱۲۰۷۲۷۴۰۶

تلگرام: <https://t.me/GOLSANJ>

کلیه‌ی حقوق و تکالیف این اثر متعلق به مترجم است و هرگونه نسخه‌برداری از کل کتاب یا بخشی از آن ممنوع است و پیگرد قانونی دارد.

پیشگفتار

ناوبری اینرسی، ترکیبی متشکل از ابزار دقیق اینرسی، ریاضیات، طراحی سیستم کنترل و زمین‌سنجی می‌باشد. از این فناوری در بسیاری از فعالیت‌های نظامی، غیرنظامی، مهندسی و علمی استفاده می‌شود. به عنوان نمونه می‌توان به ناوبری و کنترل وضعیت هواپیماها، زیردریایی‌ها، موشک‌های بالستیک و کبر و فضاپیماها اشاره کرد. از دهه ۱۹۴۰ که در آن توسعه سیستم‌های ناوبری اینرسی برای راپید با به علاقه‌مندی فراوان آغاز شد، پیشرفتی مداوم در جهت کاهش اندازه و افزایش دقت در دو حسز اینرسی پایه یعنیژیروسکوپ و شتاب‌سنج صورت پذیرفته است. در این دوره زمانی، پیشرفت‌های عظیمی در فناوری کامپیوتر دیجیتال صورت گرفته است. هر واحد اندازه‌گیری اینرسی در موشک کرور استارک که در دهه ۱۹۵۰ توسعه یافت چند صد پوند وزن داشت؛ امروزه واحدهای اندازه‌گیری اینرسی به گاهای ساخته می‌شوند که وزن آن‌ها فقط چند پوند باشد. محاسبات موشک استارک با یک تریپل‌گر دیفرانسیلی ساده انجام شده است. امروزه سیستم‌های ناوبری اینرسی از کامپیوترهای جامع با ظرفیت بالا و سرعت بالا بهره می‌برند که قادر است هزاران عملیات را در هر ثانیه انجام دهد.

تمرکز این کتاب بر اصول ریاضیاتی و فیزیکی می‌باشد که مبنای ناوبری اینرسی را تشکیل می‌دهد. اگرچه به طراحی سیستم اینرسیایی خاص نمی‌پردازیم اما موارد به‌کار رفته در این کتاب به ناوبری اینرسی انواع وسایل نقلیه زمینی، دریایی، هوایی و فضایی در مجاورت زمین قابل اعمال است. فرض می‌شود که خواننده با جبر و حساب ماتریسی، مکانیک تحلیلی، نظریه سیستم کنترل مقدماتی، آمار مقدماتی و فیلتر کالمن آشنایی دارد. این کتاب عمده‌تاً برای دانشجویان مهندسی سال سوم یا چهارم که رشته آن‌ها فناوری اینرسی است نوشته شده است. علاوه بر این، مقصد مهندسين و دانشمندان رشته‌های ریاضیات، نظریه کنترل، مکانیک تحلیلی، زمین‌سنجی یا فیزیک که نیازمند به درک اصول بنیادین فن‌آوری ناوبری اینرسی را دارند نیز می‌باشد.

کتاب‌های قبلی پیرامون ناوبری اینرسی تقریباً به‌طور منحصربه‌فردی به جنبه‌های ابزار دقیق و ریاضیاتی اینرسی مرتبط بودند. از قسمت‌های ضروری به کار گرفته شده توسط نظریه سیستم کنترل و زمین‌سنجی به‌طور گسترده صرف‌نظر شده است. نظریه بنیادی سیستم کنترل به ارائه

روشی برای به دست آوردن تابع پاسخ ضربه سیستم ناوبری می‌پردازد که برای درک انتشار خطاهای موجود در سیستم ضروری است. ناوبری اینرسی به خودی خود فقط قادر است با افزایش خطاها حالت را از زمانی به زمان دیگر تغییر دهد. زمین‌سنجی، شرایط اولیه مطلق را ایجاد می‌کند تا حالت مطلق قابل اندازه‌گیری باشد. همچنین به ارائه داده‌های فیزیکی مورد استفاده برای کالیبراسیون ادوات اینرسی و ایجاد مدل گرانش ناوبری مورد استفاده محاسبات ناوبری می‌پردازد. برای اولین بار، این کتاب به‌طور کامل به این جنبه‌های ترکیبی از فناوری ناوبری اینرسی و زمین‌سنجی می‌پردازد.

دقت ابزار دقیق اینرسی با زمان و با تغییرات محیط کاهش می‌یابد. برای بهبود دقت، اندازه‌گیری‌های مستقل از تجزیهات اینرسی اغلب با محاسبات ناوبری ترکیب می‌شوند. برای ایجاد این شرایط، اصطلاح ناوبری اینرسی گسترش یافته است تا شامل استفاده از تجهیزاتی خارجی باشد که به‌طور متناوب موقعیت، سرعت یا جهت را اندازه می‌گیرند تا بردار حالت ناوبری به‌روز شود. پایه فیزیکی برای استفاده از اندازه‌گیری‌های خارجی برای این هدف از اصول پایه‌ای نشست می‌گیرد و انواع متعدد دیگر اندازه‌گیری‌های خارجی توصیف شده‌اند. از توصیفات جالب می‌توان به توصیف پایه استفاده از اطلاعات موقعیت و سرعت GPS برای بهبود دقت اشاره کرد. در صورتی که اندازه‌گیری‌های خارجی مورد استفاده قرار گیرد، به این فرایند ناوبری اینرسی حمایت‌شده می‌گویند. به مانند متون پیشین پیرامون ناوبری اینرسی، به موضوع انتشار خطا به‌طور کامل پرداخته شده است و به انتشار خطای ابزارآلات اینرسی توجه بیشتری داده است. برای اولین بار، این کتاب به اثرات دقت خطاها در اندازه‌گیری‌های خارجی و داده‌های زمین‌سنجی می‌پردازد. همچنین این کتاب برای اولین بار به موضوع معیار دقت و ارزیابی پرداخته است. محاسبات دقیق احتمال خطای دایروی^۱ و احتمال خطای کروی^۲ به دست آمده و مقادیر بایاس‌ها و همچنین خطاهای تصادفی را در برمی‌گیرند.

این کتاب به سه بخش تقسیم شده است: ناوبری اینرسی، ناوبری اینرسی حمایت‌شده و تحلیل دقت. دو بخش اول به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که بدون اینکه خواننده نیاز به فهم ترفندهای تحلیل آماری موجود در تعیین اثرات خطاهای دقت داشته باشد درکی از اصول ناوبری اینرسی با دقت بالا را فراهم می‌کند. دو بخش اول اطلاعات کافی به خواننده می‌دهند تا به کمک چگونگی عملکرد سیستم‌های ناوبری اینرسی بپردازد و تا حدودی نحوه طراحی آن‌ها را بفهمد. بخش سوم به تعریف معیار تعیین دقت می‌پردازد و سپس خواننده را به سمت فرایند پیچیده تعیین دقت سوق می‌دهد. برای ایجاد و تأیید مشخصه‌های طراحی سیستم به اطلاعات دقت نیاز است تا بتوان عملکردی عملیاتی را پیش‌بینی کرده و عملکرد واقعی حاصل شده را تعیین کرده است. توصیفات کامل‌تر موضوعات بخش‌های ۲، ۱ و ۳ در ابتدای هر بخش آمده است.

آوریل ب. چتفیلد، سپتامبر ۱۹۹۷

^۱ Circular Error Probable (CEP)

^۲ Spherical Error Probable (SEP)

فهرست

۱۱	 مقدمه
۱۲	 ۱-۱- نیروهای مولد حرکت
۱۴	 ۱-۲- هم‌ارزی اینرسی چارچوب زمین مرکزی
۱۶	 ۱-۳- معادله اساسی ناوبری اینرسی
۱۷	 ۱-۴- توصیف یک سیستم ناوبری اینرسی
۱۸	 ۱-۵- اندازه‌گیری‌های اینرسی
۱۹	 ۱-۶- چهار مرحله برای ناوبری اینرسی
۲۱	 ۱-۷- نقش زمین‌سنجی
۲۱	 ۱-۸- مدل زمین مرجع
۲۷	 بخش اول - ناوبری اینرسی
۲۹	 نماذگذاری، سیستم‌های مختصات و واحدها
۲۹	 ۱-۲- قراردادهای نوشتاری
۳۳	 ۲-۲- تعاریف سیستم مختصاتی
۴۰	 ۳-۲- مشخصه‌های تبدیل مختصات
۵۰	 ۴-۲- پرکاربردترین دوران مختصات
۵۲	 ۵-۲- واحدها
۵۳	 معادلات حرکت در میدان گرانشی با نیروی مرکزی
۵۴	 ۱-۳- حرکت در مختصات اینرسی با نیروی ویژه صفر
۵۸	 ۲-۳- شکل فضایی حالت
۶۲	 ۳-۳- حرکت در مختصات اینرسی محاسباتی
۶۶	 ۴-۳- حرکت در مختصات زمینی محاسباتی
۷۸	 ۵-۳- اثر میرایی سرعت
۸۵	 ابزار سنجش اینرسی
۸۶	 ۱-۴- ژيروسکوپ

۹۷.....	۲-۴- شتاب سنج
۱۰۱.....	۳-۴- گرادبان متر
۱۰۶.....	۴-۴- پیکربندی های حلقه ای
۱۰۷.....	۵-۴- پیکربندی متصل به بدنه
۱۰۹.....	کالیبراسیون
۱۱۰.....	۱-۵- بردارهای مرجع فیزیکی
۱۱۳.....	۵-۲- عملیات کالیبراسیون
۱۱۸.....	۳-۵- کالیبراسیون شتاب سنج
۱۲۶.....	۴-۵- کالیبراسیون ژيروسکوپ
۱۴۳.....	همتراز سازی او و محاسبه وضعیت
۱۴۴.....	۱-۶- براز، ری اولیه
۱۵۷.....	۶-۲- وضعیت
۱۶۷.....	متغیرها و ثابت های زمین سنجی
۱۶۷.....	۱-۷- روش به دست آمدن مقادیر برای متغیرها و ثابت های زمین سنجی
۱۷۸.....	۲-۷- سیستم جهانی زمین سنجی ۱۹۸۴
۱۸۵.....	۳-۷- مدل های گرانش
۱۹۳.....	۴-۷- جملات افزایشی مفید در زمین سنجی
۱۹۴.....	۵-۷- بسط نقشه های گرانشی با سنجش های ایستای
۱۹۷.....	معادلات حرکت با مدل گرانشی کلی
۱۹۸.....	۱-۸- شکل فضای حالت بر حسب مختصات اینرسی
۲۰۱.....	۲-۸- شکل فضای حالت در مختصات زمینی
۲۰۱.....	۳-۸- شکل فضای حالت در مختصات زمینی به همراه مدل گرانش جرم های
۲۰۴.....	۴-۸- شکل فضای حالت بر حسب مختصات عمود زمین سنجی محلی
۲۰۹.....	۵-۸- قوانین کنترل سکو
۲۱۲.....	۸-۶- انتگرال گیری از معادلات حرکت
۲۱۳.....	۷-۸- خلاصه ای از معادلات محاسبه ماتریس انتقال
۲۲۵.....	بخش دوم- ناوبری اینرسی با پشتیبان
۲۲۷.....	ناوبری اینرسی با اندازه گیری های خارجی
۲۲۸.....	۱-۹- مبنای استفاده از اندازه گیری های خارجی
۲۳۷.....	۲-۹- به روز رسانی های حالت فیلتر کالمن
۲۶۵.....	معادلات خطای فیلتر کالمن
۲۶۵.....	۱-۱۰- خطاهای وضعیتی
۲۷۰.....	۲-۱۰- ماتریس های توزیع خطا و دینامیک سیستم در مختصات اینرسی
۲۷۵.....	۳-۱۰- ماتریس های توزیع خطا و دینامیک سیستم در مختصات زمینی
۲۷۷.....	۴-۱۰- ماتریس های توزیع خطا و دینامیک سیستم در مختصات عمود زمین سنجی محلی
۲۸۵.....	مدل های خطای متغیر حالت

۲۸۵.....	۱-۱۱- توابع شکل‌دهی خطای تجهیزات اینرسی و اندازه‌گیری خارجی
۲۸۸.....	۲-۱۱- توابع شکل‌دهی خطای مدل حذف گرانشی
۲۹۷.....	بخش سوم- تحلیل دقت
۲۹۹.....	معیار دقت و فنون تحلیل
۳۰۰.....	۱-۱۲- قضیه‌ی حد مرکزی
۳۰۰.....	۲-۱۲- خطای معیار
۳۰۵.....	۳-۱۲- تابع توزیع گاوسی برای خطاهای موقعیت ناوبری
۳۰۵.....	۴-۱۲- احتمال خطای دایروی و احتمال خطای کروی
۳۱۸.....	۵-۱۲- فنون تحلیل دقت
۳۲۵.....	معادلات خطای کالیبراسیون، هم‌ترازسازی و مقداردهی اولیه
۳۲۶.....	۱-۱۳- کالیبراسیون ابزار اینرسی
۳۳۲.....	۲-۱۳- هم‌ترازی تحلیلی
۳۴۰.....	۳-۱۳- مقداردهی اولیه
۳۴۴.....	۴-۱۳- مقداردهی اولیه‌ی کواریانس فیلتر کالمن
۳۴۷.....	ارزیابی اثرات خطای مدل گسسته
۳۴۸.....	۱-۱۴- خطاهای مدل گرانشی هماهنگ کورن
۳۵۰.....	۲-۱۴- تولید مدل جرم نقطه‌ای
۳۵۲.....	۳-۱۴- منابع خطا برای مدل جرم نقطه‌ای
۳۶۵.....	ضمیمه الف
۳۶۶.....	ضمیمه ب
۳۶۹.....	ضمیمه پ
۳۷۱.....	ضمیمه ت
۳۷۲.....	ضمیمه ث
۳۷۳.....	ضمیمه ج
۳۷۷.....	ضمیمه چ