
آشنایی با اصول و مفاهیم کنترل، هدایت و ناوبری

مؤلف:

دکتر فرهاد یوززاده

عضو هیات علمی دانشگاه امام حسین (ع)

دکتر حسن سالاریه

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف

مهندس حجت‌الله آگهی

تهران، جمهوری اسلامی ایران

زمستان ۱۳۹۶

سرشناسه: خالوزاده، فرهاد، ۱۳۴۰
عنوان و نام پدیدآور: آشنایی با اصول و مفاهیم کنترل، هدایت و ناوبری/مؤلف فرهاد خالوزاده، حسن سالاریه، حجت‌الله آگهی.
مشخصات نشر: تهران: اندیشگاه فناوری‌های نوین، انتشارات، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری: ۳۹۵ص: مصور، جدول، نمودار
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۲۹۰-۳۵-۳
وضعیت فهرست نویسی: فیا
یادداشت: واژه‌نامه.
موضوع: موشک‌ها -- سامانه‌های کنترل
موضوع: Rockets (Aeronautics) -- Control systems
موضوع: کنترل راز
موضوع: Flight control
موضوع: سامانه‌های هدایت پرواز
موضوع: Guidance, control (Flight)
موضوع: ناوبری هوایی
موضوع: Navigation (Aeronautics)
شناسه افزوده: سالاریه، حسن، ۱۳۴۱
شناسه افزوده: آگهی، حجت‌الله، ۱۳۵۰
رده بندی کنگره: ۱۳۹۶ ۲خ ۲س / ۷۸۴ TL
رده بندی دیویی: ۶۲۹ / ۴۷۵
شماره کتابشناسی ملی: ۵۰۹۰۷۴۰

عنوان کتاب: آشنایی با اصول و مفاهیم کنترل، هدایت و ناوبری

مؤلف: فرهاد خالوزاده، حسن سالاریه، حجت‌الله آگهی

ناشر: اندیشگاه فناوری‌های نوین

چاپ و صحافی: ردونا

کتاب‌آرا: هادی کیقبادی

نوبت چاپ: اول (زمستان ۱۳۹۶)، ۵۰۰ جلد

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۲۹۰-۳۵-۳

قیمت: ۲۸۰۰۰۰ ریال

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر محفوظ بوده و هرگونه بهره‌برداری از مطالب آن با ذکر منبع، مجاز می‌باشد.
برای تهیه این کتاب می‌توانید به www.aeroshop.ir مراجعه کنید یا با شماره تلفن ۰۲۱۷۷۲۶۳۳۴۳ تماس حاصل فرمایید.

فهرست

فصل اول: تاریخچه و مفاهیم اولیه دترو، هدایت و ناوبری	۲۳
۱-۱. مقدمه	۲۳
۲-۱. تاریخچه	۲۴
۳-۱. طبقه‌بندی موشک‌های زمین به زمین	۲۶
۱-۳-۱. برد	۲۷
۲-۳-۱. اجزای اصلی موشک	۲۸
۴-۱. هدایت، کنترل و ناوبری	۳۶
۱-۴-۱. مفهوم هدایت	۳۶
۲-۴-۱. مفهوم کنترل	۷
۳-۴-۱. مفهوم ناوبری	۳۸
۴-۴-۱. سیستم هدایت	۳۹
۵-۱. سیستم‌های کنترلی مدار باز و حلقه بسته	۴۴
۶-۱. مراحل پروازی موشک	۴۵
۱-۶-۱. فاز پرتاب	۴۶
۲-۶-۱. فاز میانی	۴۶
۳-۶-۱. فاز نهایی	۴۷

۷-۱. خط سیر هدایت.....	۴۸
۱-۷-۱. مسیر پرواز ایده آل.....	۴۸
۲-۷-۱. خط سیر مستقیم.....	۴۹
۳-۷-۱. خط سیر بالستیک.....	۴۹
۴-۷-۱. خط سیر کروز.....	۵۲
۵-۷-۱. خط سیر در خط دید.....	۵۳
۶-۷-۱. خط سیر تناسبی.....	۵۳
۸-۱. علامت اختصاری مورد استفاده در حوزه ناوبری.....	۵۵
منابع و مراجع فصل ۱.....	۶۳
فصل دوم: سیستم کنترل.....	۶۵
۱-۲. مقدمه.....	۶۵
۲-۲. اجزای اصلی سیستم کنترل.....	۶۶
۳-۲. کنترل آیرودینامیکی.....	۶۷
۱-۳-۲. کنترل دم.....	۷۰
۲-۳-۲. کنترل کانارد.....	۷۱
۳-۳-۲. کنترل بال.....	۷۲
۴-۲. مانورهای آیرودینامیکی.....	۷۲
۱-۴-۲. گردش با لغزش (STT).....	۷۳
۲-۴-۲. گردش با غلتش (BTT).....	۷۴
۳-۴-۲. غلتش مداوم (RA).....	۷۶
۵-۲. کنترل بردار پیشران (TVC).....	۷۸
۱-۵-۲. روش های منحرف کردن بردار پیشران.....	۸۰
۶-۲. اصول تئوری کنترل و روش های کنترلی.....	۸۲
۱-۶-۲. انواع سیستم های کنترل از نظر ساختار.....	۸۳
۲-۶-۲. تقسیم بندی سیستم های کنترلی از نظر ورودی-خروجی.....	۸۵
۷-۲. سیستم اتوپایلوت.....	۱۰۱
۱-۷-۲. طراحی سیستم اتوپایلوت.....	۱۰۲
۲-۷-۲. اجزاء حلقه های کنترلی.....	۱۰۳

۱۰۶.....	۸-۲. الگوریتم‌های فیلترینگ و تخمین وضعیت
۱۰۶.....	۱-۸-۲. اصطلاحات رایج در فیلترها
۱۰۷.....	۲-۸-۲. فیلترهای خطی
۱۰۸.....	۳-۸-۲. فیلتر باترورث
۱۰۹.....	۴-۸-۲. فیلتر چیشف
۱۱۰.....	۵-۸-۲. فیلتر بیضوی
۱۱۱.....	۶-۸-۲. فیلتر بسل
۱۱۱.....	۷-۸-۲. فیلتر گاوس
۱۱۱.....	۸-۸-۲. فیلترهای آنالوگ و دیجیتال
۱۲۰.....	۹-۲. مدل موشک
۱۲۱.....	۱-۹-۲. ساختار سیستم کنترلی
۱۲۲.....	۲-۹-۲. طراحی اجزاء حلقه کنترل
۱۲۳.....	۳-۹-۲. ملاحظات تحقق عملی کنترل کننده
۱۲۴.....	منابع و مراجع فصل ۲
۱۲۵.....	فصل سوم: آشنایی با سیستمهای هدایتی
۱۲۵.....	۱-۳. مقدمه
۱۲۶.....	۲-۳. اجزای اصلی سیستم هدایت و اجزای آن
۱۲۸.....	۱-۲-۳. قانون هدایت (الگوریتم)
۱۲۹.....	۳-۳. انواع سیستمهای هدایت
۱۳۱.....	۱-۳-۳. هدایت پیش‌تنظیم
۱۳۲.....	۲-۳-۳. روش هدایتی دلتا
۱۳۴.....	۳-۳-۳. هدایت Q
۱۳۸.....	۴-۳-۳. هدایت Pitch Program
۱۴۰.....	۵-۳-۳. هدایت هدف‌بین
۱۴۱.....	۶-۳-۳. هدایت دو نقطه ای
۱۴۶.....	۷-۳-۳. هدایت سه نقطه ای
۱۵۲.....	۸-۳-۳. سیستم هدایت اینرسی (Inertial Navigation System)
۱۵۴.....	۹-۳-۳. سیستم هدایت آشیانه یاب (Homing Guidance)

۱۵۷.....	۱۰-۳-۳. هدایت برنامه ریزی شده (با تنظیم اولیه) (Preset Guidance)
۱۵۹.....	۱۱-۳-۳. هدایت تناسبی
۱۶۳.....	منابع و مراجع فصل ۳
۱۶۵.....	فصل چهارم: سیستم ناوبری
۱۶۵.....	۱-۴. مقدمه
۱۶۶.....	۲-۴. ناوبری
۱۶۶.....	۱-۲-۴. ناوبری اینرسی
۱۷۵.....	۲-۲-۴. ناوبری رادیویی
۱۷۶.....	۳-۲-۴. ناوبری تصویری
۱۷۷.....	۴-۲-۴. سیستم ناوبری منطقه با عوارض زمینی (TERCOM)
۱۸۲.....	۵-۲-۴. سیستم ناوبری بررسی مبتنی بر عوارض زمین
۱۸۴.....	۶-۲-۴. ناوبری سماوی
۱۸۶.....	۷-۲-۴. ناوبری مغناطیسی
۱۸۷.....	۸-۲-۴. سیستم هدایت G.P.S (Global Satellite Positioning System)
۱۹۲.....	۹-۲-۴. مقایسه سیستم‌های ناوبری
۱۹۲.....	۱۰-۲-۴. سیستم‌های ناوبری ترکیبی
۱۹۳.....	۱۱-۲-۴. ترکیب سیستم‌های ناوبری اینرسی و رادیویی
۱۹۳.....	۳-۴. میدان جاذبه زمین
۱۹۵.....	۴-۴. ناوبری در دستگاه زمینی
۱۹۸.....	۵-۴. ناوبری در دستگاه جغرافیایی
۲۰۲.....	منابع و مراجع فصل ۴
۲۰۳.....	فصل پنجم: اندازه‌گیری اینرسی
۲۰۳.....	۱-۵. مقدمه
۲۰۴.....	۲-۵. جایروسکوپ
۲۰۵.....	۱-۲-۵. تعریف جایروسکوپ
۲۰۷.....	۲-۲-۵. خواص جایروسکوپی
۲۰۹.....	۳-۲-۵. ساختمان جایروسکوپ

۲۱۴.....	۴-۲-۵. تقسیم بندی جابروسکوپ.....
۲۲۵.....	۳-۵. شتاب سنج خطی.....
۲۲۸.....	۴-۵. خطای حس کننده ها.....
۲۲۸.....	۱-۴-۵. خطای اثر چرخش زمین.....
۲۳۱.....	۲-۴-۵. خطاهای شتاب سنج.....
۲۳۲.....	منابع و مراجع فصل ۵.....
۲۳۳.....	فصل ششم: ساختار کنترلی و سرو مکانیزم.....
۲۳۳.....	۱-۶. مقدمه.....
۲۳۴.....	۲-۶. سطوح کنترلی.....
۲۳۵.....	۱-۲-۶. مکان های عمده رافق موشک.....
۲۳۶.....	۲-۲-۶. بدنه و سطوح کنترلی.....
۲۵۰.....	۳-۶. انواع سیستم سرو مکانیزم.....
۲۵۰.....	۱-۳-۶. سرو مکانیزم هیدرولیکی.....
۲۵۶.....	منابع و مراجع فصل ۶.....
۲۵۷.....	فصل هفتم: سینماتیک و دینامیک موشک.....
۲۵۷.....	۱-۷. مقدمه.....
۲۵۷.....	۲-۷. نمادگذاری.....
۲۵۸.....	۱-۲-۷. نمایش کمیت های اسکالر.....
۲۵۸.....	۲-۲-۷. نمایش کمیت های برداری.....
۲۵۸.....	۳-۲-۷. ماتریس ها.....
۲۵۹.....	۴-۲-۷. دستگاه های مختصات.....
۲۵۹.....	۳-۷. تعاریف اولیه در سینماتیک (حرکت اجسام).....
۲۶۰.....	۱-۳-۷. سکون و حرکت.....
۲۶۱.....	۲-۳-۷. مسیر.....
۲۶۱.....	۳-۳-۷. تغییر مکان (جابجایی).....
۲۶۲.....	۴-۳-۷. مسافت و جابجایی.....
۲۶۳.....	۵-۳-۷. اندازه حرکت خطی.....

- ۶-۳-۷. گشتاور..... ۲۶۶
- ۷-۴. معادلات سینماتیک (حرکت اجسام)..... ۲۶۷
- ۷-۴-۱. معادله سینماتیک (حرکت اجسام) در یک بعد..... ۲۶۷
- ۷-۴-۲. معادله سینماتیک موشک در دو بعد..... ۲۶۸
- ۷-۴-۳. معادلات سرعت و شتاب متوسط..... ۲۶۸
- ۷-۴-۴. معادلات سرعت و شتاب متوسط در حرکت دایره‌ای..... ۲۷۰
- ۷-۴-۵. حرکت دایره‌ای یکنواخت..... ۲۷۱
- ۷-۴-۶. دینامیک حرکت دایره‌ای یکنواخت..... ۲۷۳
- ۷-۴-۷. سینماتیک ذره در دستگاه دکارتی..... ۲۷۳
- ۷-۴-۸. سینماتیک ذره در دستگاه قطبی..... ۲۷۴
- ۷-۵. سینتیک موشک..... ۲۷۵
- ۷-۵-۱. قوانین حرکت نسبی..... ۲۷۶
- ۷-۶. اثر یا نیروی کوریولیس..... ۲۷۹
- ۷-۶-۱. عوامل موثر بر نیروی کوریولیس..... ۲۷۹
- ۷-۶-۲. دلایل ایجاد کوریولیس..... ۲۸۲
- ۷-۶-۳. اثر کوریولیس بر روی موشک‌های استیک..... ۲۸۳
- ۷-۶-۴. واحد نیروی کوریولیس..... ۲۸۳
- ۷-۶-۵. اثر اتوتوروس..... ۲۸۴
- ۷-۷. نیروها و گشتاورهای آیرودینامیکی..... ۲۸۴
- ۷-۷-۱. توزیع تنش برشی (τ) بر روی سطح موشک..... ۲۸۴
- ۷-۷-۲. توزیع فشار (P) بر روی سطح موشک..... ۲۸۵
- ۷-۷-۳. مرکز فشار..... ۲۸۵
- ۷-۷-۴. مرکز آیرودینامیکی..... ۲۸۶
- ۷-۷-۵. مرکز گرانش..... ۲۸۶
- ۷-۷-۶. عدد ماخ..... ۲۸۷
- ۷-۷-۷. فشار دینامیکی..... ۲۸۷
- ۷-۷-۸. سرعت جریان آزاد..... ۲۸۷
- ۷-۷-۹. مولفه‌های نیروی آیرودینامیکی..... ۲۸۷
- ۷-۷-۱۰. گشتاورهای آیرودینامیکی..... ۲۸۹

۲۹۰.....	۷-۱۱. ضرایب آیرودینامیکی.....
۲۹۲.....	۷-۸. اتمسفر (جوّی) کره زمین.....
۲۹۲.....	۷-۱۸. ماهیت فیزیکی جو.....
۲۹۳.....	۷-۲۸. لایه‌های اتمسفر.....
۲۹۵.....	۷-۳۸. ساختار جوّ زمین.....
۳۰۰.....	۷-۴۸. برخی ویژگی‌های مهم جوّ زمین.....
۳۰۱.....	منابع و مراجع فصل ۷.....
۳۰۳.....	فصل هشتم: دینامیک دوران و عملگر انتقال.....
۳۰۳.....	۸-۱. مقدمه.....
۳۰۳.....	۸-۲. مبانی دینامیک دوران.....
۳۰۴.....	۸-۲-۱. توصیف مکان، جهت‌گیری و چارچوب.....
۳۱۰.....	۸-۲-۲. عملگر دوران / تبدیل مختصات.....
۳۱۲.....	۸-۳. ماتریس دوران چارچوب/ دستگاه مختصات.....
۳۱۷.....	۸-۳-۱. خصوصیات ماتریس دوران.....
۳۱۸.....	۸-۳-۲. معکوس یک ماتریس دوران.....
۳۱۸.....	۸-۴. توصیف چارچوب‌های دوران یافته.....
۳۲۰.....	۸-۴-۱. توصیف انتقال و دوران چارچوب‌ها در حالت کلی.....
۳۲۱.....	۸-۵. دوران حول یک محور مختصات (بردار).....
۳۲۲.....	۸-۵-۱. برخی از خواص عملگر دوران حول یک محور مختصات (بردار).....
۳۲۳.....	۸-۶. ماتریس دوران حول یکی از محورهای مختصات.....
۳۲۴.....	۸-۷. ماتریس دوران حول یکی از محورهای دستگاه مختصات ثابت.....
۳۲۷.....	۸-۸. ماتریس دوران متوالی حول محورهای یک دستگاه مختصات ثابت.....
۳۳۰.....	۸-۹. دوران با استفاده از زوایای اوپلر.....
۳۳۵.....	۸-۱۰. دوران با استفاده از کواترنین‌ها.....
۳۳۸.....	۸-۱۱. روابط میان دوران ثابت با دوران اوپلر.....
۳۳۸.....	۸-۱۲. جمع‌بندی خلاصه روش‌های بیان عددی دوران.....
۳۳۹.....	منابع و مراجع فصل ۸.....

فصل نهم: تبدیل دستگاه‌های مختصات	۳۴۱
۱-۹. مقدمه	۳۴۱
۲-۹. مبانی تبدیل دستگاه‌های مختصات	۳۴۱
۱-۲-۹. بردار	۳۴۱
۲-۲-۹. ماتریس دوران	۳۴۴
۳-۹. معرفی دستگاه‌های مختصات	۳۴۷
۱-۳-۹. دستگاه مختصات اینرسی (دستگاه i)	۳۴۷
۲-۳-۹. دستگاه مختصات زمین (دستگاه e)	۳۴۸
۳-۳-۹. دستگاه مختصات جغرافیایی	۳۴۹
۴-۳-۹. دستگاه مختصات بدنه (دستگاه b)	۳۵۰
۵-۳-۹. دستگاه مختصات پرتاب (دستگاه l)	۳۵۱
۶-۳-۹. دستگاه مختصات مرجع بدنه (دستگاه b')	۳۵۱
۷-۳-۹. دستگاه مختصات پرتاب شمال (دستگاه l')	۳۵۲
۸-۳-۹. دستگاه مختصات رهگیری (دستگاه n)	۳۵۲
۹-۳-۹. دستگاه زاویه و اندر (دستگاه n')	۳۵۳
۱۰-۳-۹. بردار دوران	۳۵۳
۴-۹. دوران بین دستگاه‌های مختصات معرفی شده	۳۵۵
۱-۴-۹. تبدیل دستگاه مختصات ناوبری به دستگاه مختصات زمین	۳۵۵
۲-۴-۹. تبدیل دستگاه مختصات اینرسیال به دستگاه مختصات زمین	۳۵۶
۳-۴-۹. تبدیل دستگاه مختصات رهگیری به دستگاه مختصات اینرسیال	۳۵۸
۴-۴-۹. تبدیل دستگاه مختصات بدنه به دستگاه مختصات رهگیری	۳۵۸
۵-۴-۹. تبدیل دستگاه مختصات زمین به دستگاه مختصات پرتاب	۳۵۹
۵-۹. استخراج معادلات دینامیکی ناوبری در دستگاه‌های مختلف دوران	۳۶۰
۱-۵-۹. استخراج معادلات دینامیکی ناوبری در دستگاه مختصات اینرسیال	۳۶۰
۲-۵-۹. استخراج معادلات دینامیکی ناوبری در دستگاه مختصات زمین	۳۶۱
۳-۵-۹. استخراج معادلات دینامیکی ناوبری در دستگاه مختصات پرتاب	۳۶۴
۴-۵-۹. استخراج معادلات دینامیکی ناوبری در دستگاه رهگیری	۳۶۵
منابع و مراجع فصل ۹	۳۶۸

۳۶۹	فصل دهم: مدل سازی سینماتیک
۳۶۹	۱-۱۰. مقدمه
۳۷۰	۲-۱۰. مدل سازی سیستم های مکانیکی
۳۷۱	۳-۱۰. مفاهیم کاربردی عملکرد مشتق در مدل سازی سیستم های مکانیکی
۳۷۲	۱-۳-۱۰. مدل سازی حرکت نسبی دو چارچوب / محور مختصات را نسبت به یکدیگر
۳۷۳	۴-۱۰. سینماتیک خطی
۳۷۳	۱-۴-۱۰. نکات پارامترهای حرکتی
۳۷۴	۲-۴-۱۰. روند استخراج معادلات سینماتیک خطی
۳۷۸	۵-۱۰. بیان وضعیت
۳۷۸	۱-۵-۱۰. بیان وضعیت به روش ماتریس دوران
۳۷۹	۲-۵-۱۰. بیان وضعیت به روش زوایای اوپلر
۳۷۹	۳-۵-۱۰. محاسبه ماتریس دوران از روی زوایای اوپلر
۳۸۱	۴-۵-۱۰. محاسبه زوایای اوپلر از روی ماتریس دوران
۳۸۱	۵-۵-۱۰. ارتباط ماتریس دوران و زوایای اوپلر خیلی کوچک
۳۸۱	۶-۵-۱۰. تعبیر هندسی زوایای اوپلر
۳۸۲	۷-۵-۱۰. چند نکته درباره دوران اوپلر
۳۸۲	۸-۵-۱۰. زوایای اوپلر توصیف کننده یک بردار
۳۸۳	۶-۱۰. بیان وضعیت به روش کواترنیون (پارامترهای اوپلر)
۳۸۳	۱-۶-۱۰. وارون کواترنیون
۳۸۳	۲-۶-۱۰. اندازه کواترنیون (پارامترهای اوپلر)
۳۸۴	۷-۱۰. سینماتیک دورانی
۳۸۴	۱-۷-۱۰. روابط دیفرانسیلی در سینماتیک دورانی
۳۸۵	۲-۷-۱۰. دینامیک دوران
۳۸۵	۳-۷-۱۰. دینامیک ماتریس کسینوس ها
۳۸۶	۴-۷-۱۰. دینامیک زوایای اوپلر
۳۸۶	۵-۷-۱۰. دینامیک کواترنیون
۳۸۷	منابع و مراجع فصل ۱۰