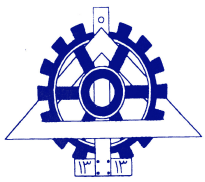


دانشکده فنی

دانشگاه تهران

ناوبری اتوماتیک سکوهای پرنده با استفاده از مفاهیم بینائی کامپیوتری

نگارش:

سارا سعیدی

استاد راهنما:

دکتر فرهاد صمدزادگان

استاد مشاور:

پروفسور تونی شنک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران- نقشه‌برداری

بهمن ۱۳۸۵

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تهران
دانشکده فنی

ناوبری اتوماتیک سکوهای پرنده با استفاده از مفاهیم بینائی کامپیوتری

نگارش:
سارا سعیدی

استاد راهنما:
دکتر فرهاد صمدزادگان

استاد مشاور:
پروفسور تونی شنک

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در
رشته مهندسی عمران- نقشه‌برداری (گرایش فتوگرامتری)

بهمن ۱۳۸۵

چکیده

پیشرفت گسترده فنآوری‌های مطرح در زمینه جمع‌آوری اطلاعات مختلف پیرامون عوارض سطح زمین در سالهای اخیر از یکسو و توسعه قابلیت، کارایی و سرعت پردازش کامپیوترها و الگوریتم‌های پردازش تصاویر از سوی دیگر، باعث گردیده‌است که روشهای ناوبری اتوماتیک هوایی مبتنی‌بر عوارض زمین و بخصوص ناوبری بینائی‌مبنا، به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های سایر سامانه‌های ناوبری، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گیرد. با این‌وجود پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت موجود در پدیده‌های طبیعی، باعث گردیده‌است که روشهای مطرح در زمینه ناوبری بینائی‌مبنا با چالشهای متعددی در زمینه ناوبری اتوماتیک سکوهای پرنده مواجه گردند.

در این تحقیق روشی نوین به‌منظور ناوبری بینائی‌مبنای سکوهای پرنده برمبنای هم‌مرجع سازی اتوماتیک تصاویر هوایی اخذ شده توسط سکو با پایگاه اطلاعات مرجع ارائه گردیده‌است. به‌منظور افزایش سرعت و دقت فرآیند زمین‌مرجع سازی تصاویر هوایی، که مبنای تعیین پارامترهای ناوبری سکوی موردنظر می‌باشد، از یک روش تناظریابی عارضه‌ای بر مبنای معیارهای مختلف تشابه هندسی و رادیومتریک در قالب ساختار سلسله مراتبی استفاده گردیده‌است. از آنجائی‌که حل مسأله تناظریابی در ناوبری اتوماتیک سکوهای پرنده با پیچیدگی‌های فراوانی از قبیل شرایط متفاوت تصویربرداری، زاویه دید و نوع سنجنده مواجه می‌باشد، از یک روش استنتاج فازی به منظور فرمولسازی عدم قطعیت حاکم بر مسئله استفاده گردیده است.

به‌منظور ارزیابی توانایی روش ارائه شده در این پایان‌نامه، نسبت به تعیین پارامترهای توجیه یک سنجنده هوایی برمبنای پایگاه اطلاعات مرجع ایجاد شده در مناطق دارای پیچیدگی‌های مختلف و با شرایط متفاوت اقدام گردید. نتایج حاصل بیانگر توانایی روش ارائه شده به‌منظور حل مشکلات مطرح در روند زمین‌مرجع نمودن اتوماتیک تصاویر هوایی است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله مراتب سپاس و تشکر خود را از استاد ارجمندم، جناب آقای **دکتر صمدزادگان** که هدایت پایان‌نامه را بعهده داشته و همواره در افت و خیزهای پرتعداد این مسیر با دانش، تجربیات و حضور موثر خود همراه ارزشمندی برای بنده بوده و سهم بسزایی در به انجام رساندن پایان‌نامه داشته‌اند، اعلام می‌دارم. همچنین از اعضاء محترم هیات داوران، ریاست دانشکده فنی، معاونت تحصیلات تکمیلی، گروه مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه تهران و شرکت تحقیق و توسعه میعاد اندیشه‌ساز کمال تشکر و امتنان را دارم. در انتها از زحمات بیدریغ خانواده‌ام که در طول سالیان متمادی، با حمایت‌ها و باورهایشان مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر می‌نمایم.

سارا سعیدی

فهرست مطالب

چکیده . . . . . یک
تشکر و قدردانی . . . . . دو
فهرست مطالب . . . . . سه
فهرست جداول . . . . . شش
فهرست اشکال . . . . . هفت

۱- مقدمه . . . . . **تعداد صفحه ۲۰**

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- مفاهیم اولیه ناوبری ۱
۱-۳- سکوها ۳
۱-۴- سامانه‌های ناوبری ۴
۱-۴-۱- سیستم‌های ناوبری کامل ۴
۱-۴-۱-۱- ناوبری رادیویی. ۶
۱-۴-۱-۲- ناوبری اینرسی ۷
۱-۴-۱-۳- ناوبری سماوی. ۹
۱-۴-۱-۴- ناوبری مبتنی بر عوارض زمین. ۹
۱-۴-۲- سیستم‌های کمک‌ناوبری ۱۲
۱-۴-۲-۱- ارتفاع‌سنج رادیویی ۱۲
۱-۴-۲-۲- ارتفاع‌سنج لیزری ۱۳
۱-۴-۲-۳- ارتفاع‌سنج فشاری یا بارومتریک ۱۳
۱-۴-۳- سیستم‌های ناوبری ترکیبی ۱۴
۱-۵- اهداف ۱۸
۱-۶- انگیزه تحقیق ۱۸
۱-۷- طرح مساله ۱۹
۱-۸- چالش‌ها ۱۹
۱-۹- ساختار پایان‌نامه ۲۰

۲- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه ناوبری... . . . . تعداد صفحه ۲۹

۲-۱- مقدمه ۲۱
۲-۲- روشهای مبتنی بر اطلاعات ارتفاعی سطح زمین. ۲۲
۲-۲-۱- اندازه‌گیری پروفیل ارتفاعی یک‌بعدی ۲۴
۲-۲- ۲- بازسازی سطح ارتفاعی دوبعدی ۳۰

۲-۳- روشهای مبتنی بر اطلاعات رادیومتریک سطح زمین . . . ۳۴
۲-۳-۱- تعیین موقعیت براساس اطلاعات مرجع ۳۶
۲-۳-۲- تعیین موقعیت بدون نیاز به اطلاعات مرجع . . . ۴۲
۲-۴- بررسی و مقایسه روشهای ناوبری با استفاده از عوارض زمین . . ۴۵

۳- روش پیشنهادی . . . . . تعداد صفحه ۲۹

۳-۱- مقدمه. ۵۰
۳-۲- ایجاد پایگاه مرجع اطلاعات مکانی ۵۱
۳-۲-۱- ایجاد زیرساخت ۵۱
۳-۲-۲- تشکیل پایگاه ۵۳
۳-۲-۲-۱- نمایش با قدرت تفکیک چندگانه اطلاعات . . ۵۴
۳-۲-۲-۲- استخراج عوارض ۵۵
۳-۲-۲-۳- انتخاب توصیفگرهای مناسب ۵۸
۳-۳- پردازش تصویر هوایی اخذ شده ۶۰
۳-۴- زمین‌مرجع سازی اتوماتیک تصویر اخذ شده ۶۰
۳-۴-۱- قیود تناظریابی ۶۵
۳-۴-۲- معیارهای تشابه ۶۵
۳-۴-۲-۱- معیار تشابه هندسی ۶۶
۳-۴-۲-۲- معیارتشابه رادیومتریکی ۶۶
۳-۴-۳- تناظریابی نقاط با استفاده از استنتاج فازی . . . ۶۷
۳-۵- تخمین پارامترهای ناوبری ۶۹
۳-۵-۱- سیستم‌های مختصات مرجع ۷۰
۳-۵-۲- مدلسازی ریاضی بهینه ۷۲
۳-۵-۳- مدلسازی ریاضی سنجنده نسبت به اطلاعات زمین... . . ۷۲
۳-۵-۴- مدلسازی ریاضی سکوی هوایی نسبت به سنجنده. . . ۷۴
۳-۵-۵- محاسبه پارامترهای ناوبری سکوی هوایی . . . ۷۵

۴- ارزیابی نتایج عملی . . . . . تعداد صفحه ۲۲

۴-۱- مقدمه ۷۹
۴-۲- خصوصیات داده‌های مورداستفاده ۷۹
۴-۲-۱- مشخصات اطلاعات مکانی مرجع ۷۹
۴-۲-۲- مشخصات سنجنده. ۸۲
۴-۳- ایجاد پایگاه اطلاعات مرجع ۸۴
۴-۴- پردازش تصاویر هوایی اخذ شده ۸۷
۴-۵- زمین‌مرجع سازی اتوماتیک تصویر هوایی و پایگاه اطلاع... . . ۸۸

۴-۵-۱- ایجاد سیستم استنتاج فازی ۸۸
۴-۵-۲- بکارگیری سیستم زمین‌مرجع سازی اتوماتیک . . . ۹۰
۴-۶- ارزیابی و تحلیل نتایج ۹۵
۴-۶-۱- ارزیابی دقت داخلی ۹۵
۴-۶-۲- ارزیابی دقت خارجی. ۹۶

۵- نتیجه گیری و پیشنهاد . . . . . تعداد صفحه ۴

۵-۱- مقدمه ۱۰۱
۵-۲- نتیجه‌گیری ۱۰۱
۵-۳- پیشنهادات ۱۰۲

مراجع ۱۰۴

پیوست . . . . . پ ۱

فهرست جداول

جدول ۱-۱: مشخصات چند نوع از معروفترین پهپادهای فعال . . . ۴
جدول ۱-۲: مقایسه مزایا و معایب سیستم‌های ناوبری INS، GPS و VBN . . ۱۶
جدول ۱-۳: مقایسه سیستم‌های ناوبری INS، GPS، VBN و ترکیب آنها. . . ۱۷
جدول ۲-۱: دسته‌بندی سیستمهای ناوبری مبتنی‌بر اندازه‌گیری ارتفاعی عوارض ۳۳
جدول ۲-۲: دسته‌بندی سیستمهای ناوبری مبتنی بر اندازه‌گیری اطلاعات ۴۴
جدول۳ -۱: متغیرها و برچسب‌های زبانی و توابع عضویت سیستم استنتاج ۶۸
جدول۳-۲: مروری بر سیستم های مختصات موردنیاز ۶۸
جدول ۴-۱: مشخصات سنجنده ماهواره IKONOS ۸۱
جدول ۴-۲: مشخصات تصاویر اخذ شده. ۸۳
جدول ۴-۳: مشخصات اطلاعات ارتفاعی مورد استفاده ۸۵
جدول ۴-۴: نقاط استخراج شده و تناظر یافته در هر لایه و باقیمانده‌ها، بیشترین ۹۶
جدول ۴-۵: نقاط استخراج شده و تناظر یافته در هر لایه و باقیمانده‌ها، بیشترین ۹۶
جدول ۴-۶: مقادیر اولیه پارامترهای ناوبری ، مقادیر تخمین زده شده برای آنها ۹۷
جدول ۴-۷: مقادیر اولیه پارامترهای ناوبری ، مقادیر تخمین زده شده برای آنها ۹۷
جدول ۴-۸: نمایش گرافیکی اختلاف پارامترهای سنجنده حاصل از روش ناوبری ۹۸
جدول ۴-۹: نمایش گرافیکی اختلاف پارامترهای سنجنده حاصل از روش ناوبری ۹۹

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: تعیین موقعیت و وضعیت سکوی هوایی نسبت به سیستم مختصات مرجع ۱
شکل ۱-۲: نمودار سیستم ناوبری، هدایت و کنترل سکوی هوایی. ۲
شکل ۱-۳: تقسیم‌بندی انواع سیستم‌های ناوبری کامل. ۵
شکل ۱-۴: بخش اپتیک سیستم هدایت مرجع سماوی . ۹
شکل ۱-۵: روش مبتنی بر اطلاعات رادیومتریک سطح زمین ۱۱
شکل ۱-۶: ارتفاع‌سنج رادیویی. ۱۳
شکل ۱-۷: اختلاف اندازه‌گیری ارتفاع‌سنج رادرای و ارتفاع‌سنج فشاری ۱۴
شکل ۱-۸: نمایش سیستم‌های ناوبری کامل، کمک‌ناوبری و ترکیبی ۱۵
شکل۲-۱: ارتفاع اندازه‌گیری شده برای عوارض زمین معادل اختلاف بین ... ۲۲
شکل۲-۲: تطبیق اطلاعات اندازه‌گیری شده توسط سنجنده با مدل ارتفاعی ... ۲۳
شکل۲-۳: ناوبری بینائی‌مبنا به دو روش نسبی و مطلق. ۳۵
شکل۲-۴: سیستم هدایت موشک تام‌هاوک در مسیر پرواز ۳۶
شکل۲-۵: روندنمای سیستم زمین‌مرجع سازی تصاویر ۳۸
شکل۲-۶: روندنمای سیستم هم‌مرجع سازی تصاویر ویدئویی بروش Kumar ۴۰
شکل۲-۷: روندنمای سیستم هم‌مرجع سازی تصاویر ویدئویی بروش Wilds ۴۱
شکل۲-۸: نمایشی از روش SLAM . ۴۳
شکل ۲-۹: نمایش روش پیشنهادی به‌منظور ناوبری بینائی‌مبنا، با استفاده ... ۴۹
شکل ۳-۱ ساختار و مراحل روش پیشنهادی ۵۰
شکل ۳-۲ نمودار مراحل ایجاد زیرساخت پایگاه اطلاعات مرجع با استفاده ... ۵۲
شکل ۳-۳: تصاویر با قدرت تفکیک‌های مختلف در زیرساخت پایگاه اطلاعات ... ۵۳
شکل ۳-۴: ساختار زیرساخت اطلاعات مکان‌مبنا ۵۴
شکل ۳-۵: انحنای تابع اتوکریلیشن و طبقه‌بندی نواحی صاف، لبه و گوشه ... ۵۷
شکل ۳-۶: مرحله زمین‌مرجع نمودن تصاویر و ارتباط آن بادیگر مراحل ... ۶۱
شکل ۳-۷: نحوه جستجوی اولیه تصویر هوایی در پایگاه اطلاعات مرجع. ۶۲
شکل ۳-۸: استخراج نقاط و بردار توصیفگرهای مربوطه واقع در محدوده‌های ... ۶۳
شکل ۳-۹: نمایش روش پیشنهادی به منظور انتقال نقاط از فضای شیء به ... ۶۴
شکل ۳-۱۰: انتقال نقطه از فضای توصیف شیء به فضای توصیف تصویر ... ۶۵
شکل ۳-۱۱: تناظریابی نقاط انتقال یافته در هر لایه و بهبود پارامترهای مدل ... ۶۹
شکل ۳-۱۲: نمایش سیستم‌های مختصات دوربین، شیء و بدنه، زوایا و ... ۷۳
شکل ۳-۱۳: تعریف سیستم‌های مختصات بدنه و ناوبری و ارتباط میان آنها ... ۷۶
شکل ۳-۱۴: تعریف سیستم مختصات ناوبری و ارتباط آن با سیستم ... ۷۷

شکل۴-۱: یک نمونه از نقشه ۱:۲۵۰۰۰ مورداستفاده در پایگاه اطلاعات مرجع . . ۸۰
شکل ۴-۲: یک نمونه از نقشه ۱:۲۰۰۰ مورد استفاده در پایگاه اطلاعات مرجع . . ۸۱
شکل ۴-۳: تصویر پانکروماتیک ماهواره‌ای IKONOS از منطقه موردنظر . . ۸۲
شکل ۴-۴: تصاویرهوایی سکوی پرنده هوایی. ۸۳
شکل ۴-۵: تصاویر هوایی اخذشده در موقعیت‌های S_1 , S_2 . . . ۸۴
شکل ۴-۶: پایگاه اطلاعات مرجع ۸۵
شکل ۴-۷: هرم تصاویر ماهواره‌ای و عوارض استخراج شده در هر لایه. . . ۸۶
شکل ۴-۸: هرم تصاویر هوایی و عوارض استخراج شده در هر لایه در دو... . . ۸۷
شکل۴-۹: برچسب‌های زبانی و تابع عضویت متغیر زبانی بردار اختلاف‌در ۸۹
شکل ۴-۱۰: برچسب‌های زبانی و تابع عضویت متغیر زبانی شباهت در روند ۸۹
شکل ۴-۱۱: برچسب‌های زبانی و تابع عضویت متغیر زبانی همبستگی در ۸۹
شکل ۴-۱۲: برچسب‌های زبانی و تابع عضویت متغیر زبانی شباهت در روند ۹۰
شکل ۴-۱۳: برچسب‌های زبانی و تابع عضویت متغیر زبانی تناظردر روند ۹۰
شکل۴-۱۴: شکل۴-۱۴: تصاویر لایه کلی و نقاط متناظر در ناحیه S_1 . . . ۹۱
شکل۴-۱۵: تصاویر لایه میانی و نقاط متناظر در ناحیه S_1 . . . ۹۲
شکل۴-۱۶: تصاویر لایه جزئیات و نقاط متناظر در ناحیه S_1 . . . ۹۳
شکل۴-۱۷: تصویر هم‌مرجع‌شده ناحیه S_1 برروی پایگاه اطلاعات مکانی . . . ۹۳
شکل۴-۱۷: تصاویر لایه جزییات و نقاط استخراج‌شده (نقاط سیاه نشان‌دهنده ۹۳
شکل۴-۱۸: تصاویر لایه‌های کلی، میانی و جزئیات، به همراه نقاط متناظر در ۹۴
شکل۴-۱۹: تصویر هم‌مرجع‌شده ناحیه S_2 برروی پایگاه اطلاعات مکانی . . ۹۵

مقدمه

سیستم‌های استنتاج فازی (Fuzzy Reasoning Systems) علاقه روز افزون محققین در حوزه‌های مختلف علمی و مهندسی را به خود جلب کرده و در سال‌های اخیر تنوع و دامنه کاربرد آنها، از کنترل فرآیندهای صنعتی و محصولات مصرفی تا پردازش تصاویر و تشخیص الگو در بینایی کامپیوتر گسترش یافته است. در این ضمیمه سعی می گردد اهم مفاهیم و مبانی سیستم‌های استنتاج فازی مورد استفاده در این پایان نامه به اجمال ارائه گردد.

منطق فازی

بیشتر ابزارهای مرسوم در مدل‌سازی، استدلال و محاسبه، ماهیتاً قطعی و از نقطه نظر ساختار صریح هستند (منظور از قطعی بودن، دو وضعیتی بودن آنهاست یعنی بیشتر از نوع آری–یا–خیر هستند نه از نوع بیشتر–یا–کمتر). برای مثال در منطق دوگانه متداول، یک جمله می‌تواند درست یا غلط باشد نه حالتی بینابین آن، در نظریه مجموعه‌ها، یک عنصر می‌تواند یا به یک مجموعه تعلق داشته باشد یا نداشته باشد و در نظریه بهینه‌سازی، یک راه حل یا عملی است یا عملی نیست. به عبارت دیگر فرض بر این است که پارامترهای یک مدل دقیقاً بیانگر ادراک ما از پدیده مدل‌سازی شده یا مشخصات سیستم واقعی مدل‌سازی شده بوده و هیچگونه ابهامی در آن وجود ندارد.

لیکن موقعیت‌های واقعی در اغلب موارد دارای ابهام و یا عدم قطعیت بوده و وضعیت آتی سیستم نیز به دلیل فقدان آگاهی و اطلاعات، ممکن است کاملاً شناخته شده نباشد. در این موقعیت‌ها، انسان در موقع تصمیم گیری بیشتر خواهان پرداختن به مفاهیم غیر دقیق یا مبهم است که غالباً می‌توان بصورت زبانی آنها را بیان نمود. از اینرو در این تحقیق از منطق فازی که یکی از شیوه‌های مدل‌سازی این روند تصمیم‌گیری است وتوسط زاده (Zadeh, 1973) مطرح گردیده، استفاده شده است .

تعاریف پایه

یک مجموعه کلاسیک (قطعی)، معمولاً بعنوان مجموعه‌ای از عناصر یا اشیاء $x \in X$ تعریف می‌شود که می‌تواند محدود، قابل شمارش، یا فرا شمارشی باشد. هر عنصر منفرد می‌تواند به یک مجموعه A، $A \subseteq X$ تعلق داشته یا نداشته باشد. در حالت قبلی، ارزش منطقی جمله " x به A تعلق دارد" درست است، حال آنکه در حالت اخیر این جمله غلط است.

تعریف ۱: اگر X مجموعه‌ای از اشیائی باشد که عموماً با x بیان می‌گردد، آنگاه یک مجموعه فازی $\tilde{A}$ در X مجموعه‌ای با زوج‌های ترتیب یافته بصورت زیر خواهد بود [Zimmermann, 1995]:

$$\tilde{A} = \left\{ (x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X \right\}$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ تابع عضویت x در $\tilde{A}$ است که X را به فضای عضویت M ترسیم می‌کند و دامنه آن مقادیر بین صفر و یک می‌باشد.

تعریف ۲: تابع عضویت $\mu_{\tilde{C}}(x)$، اشتراک $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ عبارت است از[Zimmermann, 1995]:

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \min\left\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\right\} \quad x \in X$$

و تابع عضویت $\mu_{\tilde{D}}(x)$ اجتماع در مجموعه $\tilde{D} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$ با فرمول زیر تعریف می‌گردد:

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \max\left\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\right\} \quad x \in X$$

قواعد "اگر – آنگاه"

مجموعه‌های فازی و عملگرهای فازی در حقیقت فاعل و فعل منطق فازی هستند و قواعد "اگر– آنگاه" چیزهایی هستند که جملات منطق فازی را می‌سازند. یک قاعده اگر– آنگاه دارای ساختاری به شکل:

"IF x is A THEN y is B" است که در آن A و B متغیرهای زبانی هستند که با مجموعه‌های فازی به ترتیب در دامنه‌های x و y (در عالم سخن) تعریف می‌گردند. بخش "اگر" در قاعده "x is A" شرط قضیه و بخش "آنگاه" قاعده یعنی"y is B" نتیجه نامیده می‌شود. "شرط" تفسیری است که یک عدد واحد را بین صفر و یک باز می‌گرداند، در حالی که "نتیجه" انتسابی است که مجموعه فازی B را به متغیر خروجی y اختصاص می‌دهد.

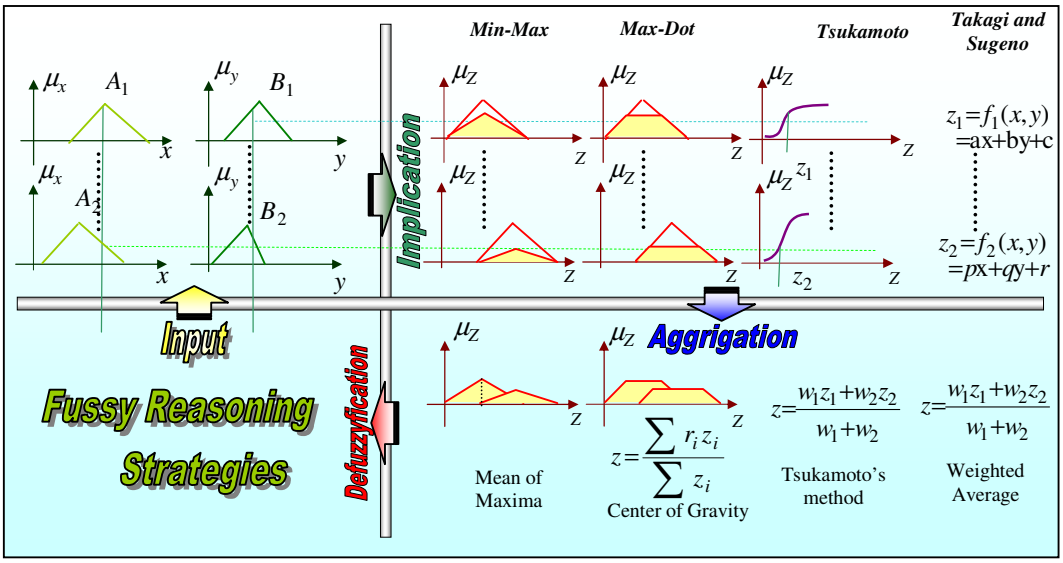
شیوه عمل در روند استنتاج فازی

استنتاج فازی عبارتست از نگاشت یک ورودی معین به یک خروجی با استفاده از منطق فازی. در عمل می‌توان روند استنتاج را به پنج مرحله تقسیم نمود (شکل ض-۱): ۱- فازی‌سازی متغیرهای ورودی، ۲- استفاده از عملگرهای فازی(AND or OR) در قسمت شرط قضیه، ۳- دلالت شرط بر نتیجه، ۴- تجمع نتایج در قواعد، ۵- نافازی سازی. در ادامه روندهای فوق بطور مختصر توضیح داده خواهد شد.

فازی‌سازی متغیرهای ورودی: اولین قدم در سیستم استنتاج این است که ورودی‌ها را گرفته و درجه تعلق آنها را به هر یک از مجموعه‌های مناسب فازی به کمک توابع عضویت تعیین کنیم. ورودی همواره یک مقدار عددی قطعی (در محدوده دامنه تعریف متغیر ورودی) و خروجی یک درجه عضویت فازی است (که همواره بین صفر و یک می‌باشد). استفاده از عملگرهای فازی در قسمت شرط قضیه: اگر قسمت شرط یک قاعده معین، بیش از یک قسمت داشته باشد، از عملگرهای فازی برای بدست آوردن یک عدد که نماینده نتیجه شرط برای آن قاعده است، استفاده می‌شود. ورودی روند فوق، دو یا چند ارزش عضویت از متغیرهای ورودی فازی‌سازی شده و خروجی یک ارزش راستین منفرد است. دلالت شرط بر نتیجه: روش دلالت به عنوان شکل دهندگی نتیجه (یک مجموعه فازی) براساس شرط (یک عدد منفرد) تعریف می‌شود. ورودی عملیات دلالت، یک عدد واحد تعیین شده با شرط است و خروجی آن یک مجموعه فازی است. قبل از انجام روند دلالت، میبایست نسبت به تعیین وضعیت وزن قواعد اقدام نمود (هر قاعده در روند استنتاج می‌تواند دارای عددی بین صفر و یک بعنوان وزن باشد). تجمع نتایج در قواعد: در روند

تجمع، خروجی‌های هر قاعده با به‌هم پیوستن مقاطع موازی یکی می‌گردند. ورودی فرآیند تجمع‌سازی، فهرستی از توابع خروجی کوتاه (زده) شده است که در روند دلالت برای هر قاعده بازگردانده شده است. خروجی یا نتیجه عمل تجمع نیز یک مجموعه فازی برای هر متغیر خروجی است. تا زمانی که روش تجمع‌سازی تعویض‌پذیر است (که همیشه نیز باید باشد)، ترتیب اجرای قواعد مهم نمی‌باشد. نافازی‌سازی: ورودی روند نافازی سازی یک مجموعه فازی (مجموعه فازی خروجی تجمع یافته) و خروجی یک عدد منفرد قطعی است که در نهایت از فازی بودن خارج شده است. به همان اندازه که فازی بودن به ارزیابی قواعد در مراحل میانی کار کمک می‌کند، نتیجه یا خروجی نهایی برای هر متغیر معمولاً یک عدد منفرد قطعی است.

در سال‌های گذشته روش‌های بسیار متنوعی در استنتاج فازی ارائه گردیده است (Lin and Lee, 1996),(Zimmermann, 1995). بیشترین نوع ذکرشده در کتب روش‌های "ماکس دات"، "مین ماکس"، "تسوکوماتو" و "تاکاجی و سوجنو" می‌باشند (شکل ض -۱).



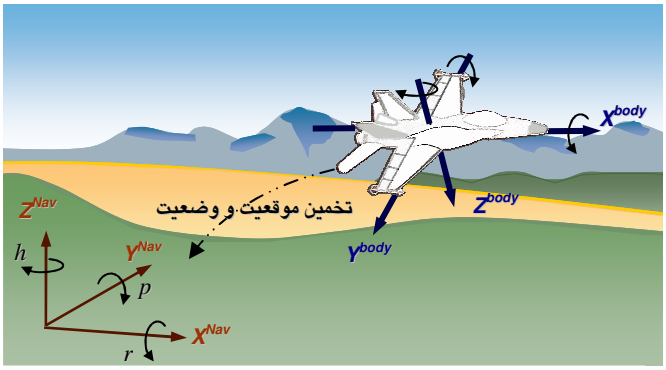
شکل پ-۱: مراحل مختلف روند استنتاج و روش‌های مختلف ارائه شده در این زمینه

۱-۱- مقدمه

در سالهای اخیر اتوماتیک‌سازی و حذف یا کاهش نقش انسان در ناوبری وسایل نقلیه و به‌خصوص سکوهای هوایی در بسیاری از کاربردها به یکی از ایده‌آل‌های بشر در زمینه‌های تحقیقاتی تبدیل شده‌است (Barrows, 2000; Erdinc and Altug, 2003). نیاز به استفاده همزمان از سنجنده‌های مختلف ناوبری در سیستم‌های اتوماتیک، روشهای ناوبری هوشمند ترکیبی را به عنوان جانشین عامل انسانی به‌صورت گسترده‌ای مطرح ساخته‌است (Ettinger et. al., 2003; Causey, 2003). در این میان ویژگیهای منحصربه‌فرد و توانایی بسیار بالای روشهای ناوبری بینائی‌مبنا، در کنار سایر سامانه‌های ناوبری، مورد توجه ویژه‌ای بوده‌است، به‌طوریکه سنجنده‌های بینائی‌مبنا علاوه بر ناوبری، در تشخیص هدف و موقعیت آن، تهیه نقشه و موزائیک عکسی منطقه، ردیابی و مانیتورینگ عوارض نیز کاربرد دارند (Kim and Sukkarieh, 2003).

۱-۲- مفاهیم اولیه ناوبری

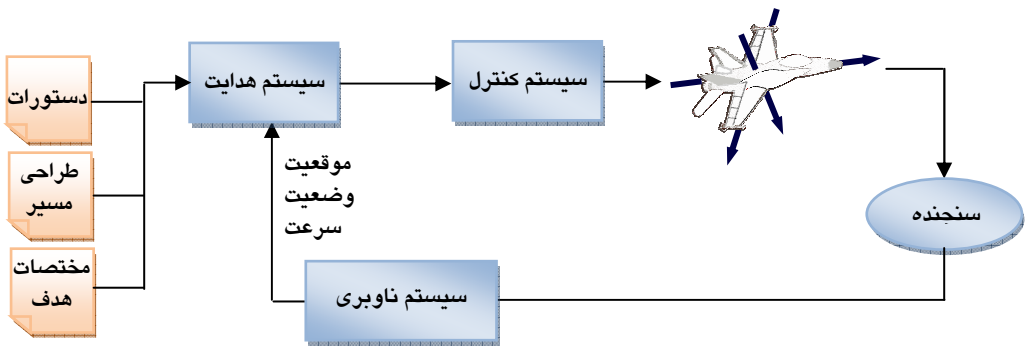
علم ناوبری که عبارت است از تخمین بردارهای موقعیت، سرعت و وضعیت (بردار حالت[۱]) اجسام متحرک، با استفاده از سامانه‌های ناوبری و کمک ناوبری (شکل۱-۱)، به عنوان یک ابزار اساسی، همواره از اهمیت بسزایی در زمینه‌های مختلف زندگی بشر برخوردار بوده‌است(Williams, 1992) .



شکل ۱-۱: تعیین موقعیت و وضعیت سکوی هوایی نسبت به سیستم مختصات مرجع ناوبری

۱ State vector

در مقابل سیستم هدایت شامل مقایسه اطلاعات خروجی از یک سیستم ناوبری با اطلاعات از پیش تعیین شده و مرجع، و اعمال نتیجهٔ آن به کامپیوتر پرواز مـی‌باشـد (شـکل۲-۱). نـاوبری و هـدایت از بـروز خطـا در مسیر حرکت جلوگیری کرده و باعث می‌شود تا سـکو مسـیر تعیـین‌شـده را طـی نمایـد. هـر سیسـتم نـاوبری (هدایت) شامل یک سیستم تعیین وضعیت و یک سیستم تعیین مسیر پرواز می‌باشـد. سیسـتم تعیـین وضـعیت، وظیفهٔ نگهداری سکو را در وضعیت زاویه‌ای موردنظر در طـی مسـیر حرکـت آن بـه‌وسـیلهٔ کنتـرل زاویـهRoll (دوران حـول محـور X)، Pitch (دوران حـول محـورY) و Heading (دوران حـول محـورZ) دارد (Williams, 1992).



شکل ۱-۲: نمودار سیستم ناوبری، هدایت و کنترل سکوی هوایی

درمقابل، سیستم کنترل مسیر پروازی، وظیفه دارد تـا مسـیر پـروازی را کـه بـرای رسـیدن بـه مقصـد موردنظر لازم است تعیین کند. عمل سیستم ناوبری و کنترل براساس اصل فیدبک بوده و وقتی که یـک خطـای ناوبری (هدایت) در سکوی هوایی به‌وجود می‌آید، تصحیحات لازم به‌وسیلهٔ سطوح کنترلی سکو انجام می‌شود. واحد کنترل همچنین سطوح کنترلی را برای پایداری سکو در Roll، Pitch و Heading تنظیم می‌کند (Williams, 1992). تصحیحات هدایت و پایدارسازی با هم ترکیـب شـده، نتیجـه بـه شـکل یـک سـیگنال بـه سـطوح کنتـرل فرستاده می‌شود (شکل۲-۱).

اطلاعات ناوبری موردنیاز در یک سـکوی هـوایی عبارتنـد از: موقعیـت، سـرعت و شـتاب مطلـق سـکو، زوایای دورانی اولر استاندارد، زاویه انحراف از مسیر طراحی شده، ارتفـاع از سـطح زمـین و فاصـله سـکو تـا عوارض موجود در میدان دید آن (Hsu, 2001).

۱-۳- سکوها

امروزه مسأله ناوبری در طیف وسیعی از سکوها و وسایل نقلیه زمینـی، دریـایی، زیردریـایی و هـوایی مطرح شده‌است و سامانه‌های ناوبری و کمک ناوبری جزء لاینفک اغلب سکوهای متحرک، بخصوص سـکوهای پرنده، تبدیل شده‌است. سکوهای پرنده (هوایی) شامل وسایل نقلیه مختلف از قبیل هلیکوپترها، هواپیماهای جت، بالن‌ها، پهبادها، موشکها و ... می‌باشد (Barrows, 2002).

در طی دهه اخیر هواپیماهای بدون سرنشین و ربات‌های پرنده در اندازه‌های مختلف با قابلیتهای متعـدد در حال توسعه و افزایش می‌باشند، در نتیجه مباحث ایمنی و ناوبری اتوماتیک سکوهای هوایی بدون سرنشـین به‌عنوان یک چالش اصلی در کنترل آنها اهمیت یافتـه‌اسـت (Barrows, 2002). هواپیماهـای بـدون سرنشـین یـا پهبادها در ابتدا برای تمـرین واحـدهای پدافنـد هـوایی و مـورد هـدف قـرار گـرفتن توسـط آتشـبارها اسـتفاده می‌شدند، اما همراه با افزایش نیازها و رشد تکنولوژی، استفاده از آنهـا در مـوارد گونـاگون بـه‌منظـور کـاهش هزینه‌ها و جلوگیری از به خطر انداختن جان افراد متداول گردید. به‌تدریج ایـن سـکوها عـلاوه بـر مأموریتهـای نظامی به تواناییهای کم نظیری دسـت یافتنـد کـه از آن جملـه مـی‌تـوان بـه نقـش آنهـا در مأموریتهـای علمـی، هواشناسی، مدیریت بحران، کنترل و پایش پدیده‌ها، تهیه نقشه و اطلاعات مکـانی منـاطق غیرقابـل دسـترس بـا دوره تکرارپـذیری کوتـاه اشـاره نمـود (Petrie, 2001). در جـدول(۱-۱) مشخصـات چنـد نـوع از معروفتـرین هواپیماهای بدون سرنشین آورده شده است.

جدول ۱-۱: مشخصات چند نوع از معروفترین پهپادهای فعال

پهپاد	طول	عرض دهانه بال (متر)	ارتفاع (متر)	حداکثر وزن (کیلوگرم)	ارتفاع پرواز (متر)	مدت پرواز (h)	سرعت (Km/h)
گلوبال هاوک	۳۰/۱۳	۸۴/۳۴	۵۵/۴	۱۱۶۰۰	۲۰۰۰۰	۳۶	۵۰۰
پریدیتور	۵۰/۱۰	۲۰/۱۹	۱/۱	۲۹۴۵	۱۲۰۰۰	۲۴	۴۰۰
هانتر	۹۰/۶	۹۰/۸	۰/۸	۷۲۷	۴۵۰۰	۱۲	۲۰۰
دراگن	۰/۹۶	۱/۲۲	۰/۳	۵/۲	۳۰۰	۱	۷۰

۱-۴- سامانه‌های ناوبری

ناوبری و کنترل موقعیت و وضعیت در سکوهای پرنده عموماً با استفاده از تلفیق سـامانه‌هـای مختلـف ناوبری و کمک ناوبری انجام می‌گیرد. سامانه‌های ناوبری موجود را می‌توان بـه دو دسـتهٔ کلـی تقسـیم نمـود: دسته اول سیستم‌های ناوبری کامل[۲] می‌باشند که در آنها ، تمامی پارامترهای موقعیت و توجیه سه‌بعدی سـکو هوایی به‌صورت مطلق نسبت به یک سیستم مختصات مرجـع تعیـین مـی‌شـود.دسـته دوم سیسـتم‌هـای کمـک ناوبری[۳] بوده که در آنها تعدادی از پارامترهای ناوبری و یا اطلاعات مـورد نیـاز جهـت محاسـبه پارامترهـای ناوبری اندازه گیری می‌شوند (Metzdorff et. al., 1992).

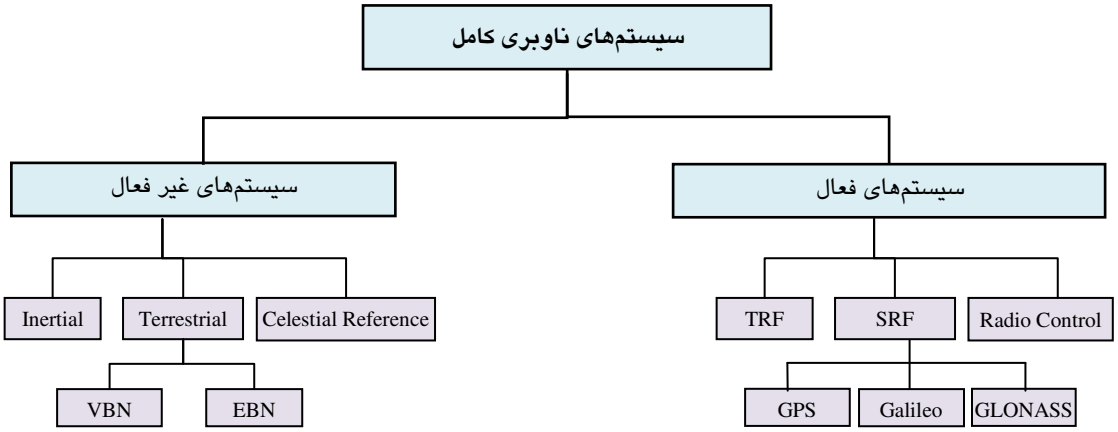
۱-۴-۱- سیستم‌های ناوبری کامل

زمانیکه مقصد در فاصلهٔ بسیار زیادی از نقطهٔ مبدأ حرکت قـرار داشـته باشـد، امکـان انحـراف سـکوی هوایی از مسیر خود به‌خاطر عوامل اختلالی مانند باد،وجود خواهد داشت ، بنابراین به نوعی از هـدایت احتیـاج میباشد که بطور لحظه‌ای موقعیت مطلق سکو را محاسبه و تصحیح نمایـد (El-Sheimy, 2002). در پرنـده‌هـای دوربرد معمولاً از چهار دسته سیستم هدایت مبتنی بر ناوبری کامل استفاده می‌شود که عبارتند از: فاصله‌یـابی

۲ Full-Navigation

۳ Navigation-Aided

امواج رادیویی (ماهواره‌ای[۴] و زمینی[۵])، ناوبری اینرسی[۶]، ناوبری مرجع سماوی[۷] و ناوبری مبتنی بر عوارض زمین[۸] (مبتنی‌بر ارتفاع عوارض[۹] و مبتنی‌بر اطلاعات رادیومتریک عوارض[۱۰]) (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: تقسیم‌بندی انواع سیستم‌های ناوبری کامل

سیستم‌های ناوبری کامل سکوهای هوایی به دو دستهٔ کلی تقسیم می‌شوند: دسته اول *سیستم‌های فعال میباشند که* دارای سیستم ناوبری فعال خارجی و اکثراً از نوع رادیوی بوده و به‌وسیلهٔ رادار یا وسایل رادیویی الکترومغناطیسی هدایت می‌شوند. دسته دوم *سیستم‌های غیر فعال هستند که* با سنسورهای داخلی خود به‌صورت غیرفعال هدایت می‌شوند. از آنجائی‌که سیستم‌های فعال هیچ سیگنال مصنوعی دریافت نمی‌کنند به سیستم‌های ناوبری خودکفا[۱۱] معروف می‌باشند. در سیستم‌های هدایت خودکفا، تمام تجهیزات هدایت و کنترل در داخل سکو قرار دارند و ارتباط فعالی با خارج برقرار نمی‌کنند. مزیت این سیستم‌ها در این است که

۴ Satellite Reference Ranging
۵ Terrestrial Reference Ranging
۶ Inertial Navigation System
۷ Celestial Reference Navigation
۸ Terrestrial Navigation
۹ Elevation Based Navigation
۱۰ Vision Based Navigation
۱۱ Self-contained Guidance Systems