هست بسم الله الرحمن الرحیم

مصحف آیات اسرار قدیم

نام حق سر دفتر هر دفتر است

آنچه بی نام خدایست ابتر است

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده هوا فضا

پایانامه کارشناسی ارشد

حل مسئله حداقل زمان صعود هواپیمای جت به کمک الگوریتم ژنتیک

نگارش

مهدی حجاری طاهری

استاد

دکتر مهدی مرتضوی

اردیبهشت ماه ۸۶

بسمه تعالی

تاریخ: .....

شماره مدرک .....

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی ارشد و دکترا
کتابخانه مرکزی

مشخصات دانشجو	نام خانوادگی : حجاری طاهری	نام : مهدی	شماره دانشجویی: ۸۳۱۲۹۱۳۷
	دانشگاه : امیرکبیر	دانشکده : هوافضا	رشته تحصیلی : مکانیک پرواز و کنترل
عنوان	حل مسئله حداقل زمان صعود هواپیمای جت به کمک الگوریتم ژنتیک		
Title :	Solving minimum time to climb problem using genetic algorithm		
استاد راهنما	نام خانوادگی : مرتضوی	نام: مهدی	
استاد مشاور	نام خانوادگی : عبادزاده	نام : مهدی	
دانشنامه	کارشناسی ○ ارشد ◉ دکترا ○	سال تحصیلی: ۱۳۸۳	
نوع پروژه	کاربردی ○ بنیادی ○ توسعه ای ○ نظری ◉		

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات: ۱۲۶	تصویر: ◉	جدول: ◉	نمودار: ◉	نقشه: ○	واژه‌نامه: ○	تعداد مراجع: ۲۲	تعداد ضمائم: ○

زبان متن	فارسی ◉	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ◉ انگلیسی ◉
یاداشت	لوح فشرده ○ دیسکت فلاپی ○			
توصیفگر				
کلید واژه فارسی	بهینه سازی – حداقل زمان – ژنتیک الگوریتم			
کلید واژه لاتین	Optimization – Minimum Time - Genetic Algorithm			

به نام خدا

شماره: .....

تاریخ: .....

برگ ارزیابی پایان‌نامه کارشناسی ارشد (اپکا۲)

نام و نام خانوادگی: مهدی حجاری طاهری — شماره دانشجویی:۸۳۱۲۹۱۳۷

رشته و گرایش تحصیلی:مکانیک پروازوکنترل — دانشکده:مهندسی هوافضا

عنوان پایان‌نامه: استفاده از الگوریتم ژنتیک در حل مسئله حداقل زمان صعود هواپیمای جت

تاریخ تصویب۸۴/۴/۱۳

تاریخ دفاع: ۸۶,۳,۱۸

(از ۱۰۰)

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	کد انفورماتیک	رتبه علمی	امتیاز	امضاء
استاد راهنمای اول	دکترمهدی مرتضوی	۱۰۴۳۲	استادیار	۹۳	
استادراهنمای دوم					
استاد مشاور	دکترمحمد مهدی عبادزاده	۱۰۶۱۰	استادیار	۱۰۰	
داور داخلی	دکتر ابوالقاسم نقاش	۱۰۲۳۷	استادیار	۹۰	
داور خارجی	دکترمحمدعلی نیازمند			۹۷	
داور سوم					
	میانگین نمرات هیئت داوران			۹۵	

این قسمت توسط تحصیلات تکمیلی دانشکده تنظیم خواهد شد.	شرح	نمره به عدد	نمره به حروف
A	میانگین نمرات هیئت داوران (بر مبنای ۲۰)	۱۹	نوزده
B	کسر نمره دیرکرد	۱,۲۵	یک و بیست و پنج صدم
C	تشویق بابت ارائه مقاله	۰,۷۵	هفتاد و پنج صدم
D	نمره نهایی (D=A-B+C)	۱۸,۵	هجده و نیم

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده:

امضاء و مهر دانشکده:

تأئید کارشناس:

مدیر کل تحصیلات تکمیلی:

امضاء و مهر:

تقدیم به دایی عزیزم شهید محسن علیمرادیان و عموی بزرگوارم شهید علیرضا حجاری طاهری

تقدیم به پدر و مادر دلسوزم آموزگاران مهربانی که همواره یاریگرم بوده اند.

تقدیم به خواهران مهربانم که با همیاری، مقدمات تلاش بی وقفه ام را فراهم نمودند.

تقدیم به برادر عزیزم که حضورش دلیل تکاپوی من است.

و

تقدیم به آنان که به من آموختند.

خداوند منان را شکرگزارم که توفیق سپاسگزاری، نعمت سلامت و رحمت تلاش را بـه ایـن بنـده ناچیزش عطا فرمود.اکنون که با استعانت از الطاف بیکران خداونـد متعـال ایـن مقطـع تحـصیلی را پشت سر می گذارم بر خود لازم می دانم تا از تمامی استادان و یاریگران خویش تشکر نمایم.

از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر مرتضوی که در به اتمام رسـاندن ایـن هـدف از هـیچ گونه تلاشی دریغ ننموده اند و به پایـان رسـاندن ایـن دوره را مـدیون زحمـات ایـشان مـی‌باشـم. همچنین از آقای دکتر عباد زاده که فراتر از یک استاد مشاور و برادرانه در طـول انجـام پـروژه مـرا یاری نمودند و با سپاس فراوان از استادان دانشکده هوافضا کـه شـاگردی در محـضرشان را بـرای خودافتخاری بزرگ می دانم.در پایان از همکاری ها و راهنمایی های خانم مهندس کرمانشاهی کـه در طول دوره کارشناسی ارشد از یاری بی دریغشان بهره مند بوده ام کمال تـشکر را دارم و توفیـق روز افزون کلیه عزیزان را از خداوند متعال خواستارم.

چکیده

بهینه‌سازی مسیر نقش مهمی در صنعت هوا فضا ایفا می‌کند زیرا هواپیما و فضاپیماها قصد دارند به حداکثر کارآیی در محیطهای سخت و طاقت فرسا برسند. هدف از این تحقیق حل مسئلهٔ بهینه‌سازی مسیر هواپیمای جت بمنظور صعود در حداقل زمان ممکن است. این مسئله اولین بار توسط دکتر برایسون مطرح گردید و تاکنون با روشهای مختلف کنترل بهینه از جمله اصل حداقل‌یابی پونتریاگن و برنامه ریزی پویا بررسی و حل شده است. مسیر بدست آمده از این روشها تأمین کننده شرط لازم و نه کافی در یافتن حداقل مطلق زمان صعود می‌باشد. در این پایان نامه از روش مستقیم برای حل مسئله صعود در حداقل زمان استفاده شده است. بدین منظور بردار متغیر کنترل مسیر (زاویه حمله) توسط تعدادی منحنی درجه سه پارامتریزه شده و هدف انتخاب این پارامترها بگونه ای است که کنترل حاصله مسیر بهینه را ایجاد نماید. برای انتخاب بهینه این پارامترها از روش مستقیم الگوریتم ژنتیک که یک روش بهینه‌سازی کلی(*Global Optimization*) می‌باشد بهره گرفته شده است. با توجه به قابلیت بالای روش الگوریتم ژنتیکی در دنبال کردن حداقل مطلق توابع، حداقل زمان رسیدن به ارتفاع مورد نظر در سرعت مشخص دراین روش، به میزان ۳۲٪ در صد نسبت به زمان بهینه بدست آمده از سایر روشها کمتر می‌باشد. صحت عملکرد شبیه‌ساز مورد استفاده به کمک نتایج به دست آمده از حل مسئله برایسون توسط دیگر روش‌های عددی به اثبات رسیده است.

فهرست مطالب **صفحه**

فصل اول : مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تعریف بهینه‌سازی ۲

۱-۳ دسته‌بندی روشهای بهینه‌سازی ۳

۱-۳-۱ بهینه‌سازی طبیعی ۵

۱-٤ کنترل بهینه ۵

۱-۵ مسئله کنترل بهینه ٦

۱-۵-۱ مسائل حداقل زمان ۷

۱-٦ سر فصل‌ها ۱۰

فصل دوم : مقدمه ای بر الگوریتم ژنتیک

۲-۱ مقدمه ۱۳

۲-۲ معرفی کلی الگوریتم ژنتیک ۱٤

۲-۲-۱ الگوریتم های تکاملی و الگوریتم ژنتیک ۱۵

۲-۳ تقسیم بندی الگوریتم های ژنتیکی ۱۹

۲-٤ مکانیزم الگوریتم ژنتیک ۲۰

۲-۵ ویژگی‌های الگوریتم‌های ژنتیک ۲۵

۲-٦ فضای جستجو *Search space* ۲٦

۲-۷ اجزاء و مراحل الگوریتم ژنتیک ۲۷

۲-۷-۱ نمایش رشته‌ها ۲۷

۲-۷-۱-۱ متغیرهای پیوسته ۲۷

۲-۷-۱-۲ متغیرهای گسسته ۲۸

۲-۷-۲ انتخاب(*Selection*) ۳۰

۲-۷-۲-۱ انتخاب بر اساس مکانیزم رده بندی (*Rank Selection*) ۳۰

۲-۷-۲-۲ انتخاب بر اساس مکانیزم نخبه گرائی (*Elitism*) ۳۱

۲-۷-۲-۳ انتخاب بر اساس مکانیزم تناسب گرائی (*Proportional Selection*) ۳۲

۲-۷-۳ محاسبه برازندگی ۳۲

۲-۸ عملگرهای خاص ژنتیکی ۳٤

۲-۸-۱ انتخاب بر اساس مکانیزم چرخ رولت (*Roulette Wheel Selection*) ۳٤

۲-۹ عملگرجابجایی یا ترکیب مجدد (*Cross Over*) ۳٦

۲-۹-۱ جابجایی دودویی (*Binary Crossover*) ۳٦

۲-۱۰ عملگر جهش ٤٠
۲-۱۰-۱ جهش باینری (*Binary Mutation*) ٤٠
۲-۱۰-۲ جهش حقیقی(*Real Mutation*) ٤١

فصل سوم : مدل ریاضی

۳-۱ مقدمه ٤٤
۳-۲ مسئله حداقل زمان صعود هواپیمای جت ٤٥
۳-۲-۱ مدل ریاضی ٤٦
۳-۲-۲ مدل اتمسفر ٥١
۳-۲-۳ عدد ماخ (*M*) ٥١
۳-۲-٤ نیروی پیشران ٥٢
۳-۳ تست شبیه ساز ٥٣
۳-٤ متغیر کنترل ٥٧
۳-٤-۱ روش انتخاب اتفاقی ٥٨
۳-٤-۲ استفاده از سیستم های فازی ٥٩
۳-٤-۳ روش منحنی مسیری ٦٢
۳- ٥ رسم منحنی α و انتخاب منحنی اولیه مسیر ٦٨

فصل چهارم : معرفی جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک

٤-۱ مقدمه ٧٤
٤-۲ کار با جعبه ابزار ژنتیک الگوریتم در نرم افزار *Matlab* ٧٦
٤-۲-۱ شروع کار با جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک ٧٧
٤-۲-۲ بعضی اصطلاحات موجود در ژنتیک الگوریتم ٧٧
٤-۲-۳ طرز کار با جبه ابزار *gatool* ٧٨
٤-۲-٤ تعداد متغیرها ٧٩
٤-۲-٥ قیدها ٨٠
٤-۲-٦ بخش اجرای نرم افزار ٨٢
٤-۲-۷ انتخاب عملگرها ٨٣
٤-۲-۷-۱ جمعیت ٨٣
٤-۲-۷-۲ متناسب کردن سازگاری ٨٦
٤-۲-۷-۳ انتخاب ٨٧
٤-۲-۷-٤ باز تولید ٨٧
٤-۲-۷-٥ عملگرهای اصلی الگوریتم ژنتیک ٨٨
٤-۲-۷-٥-۱ جهش ٨٩

٤-٢-٧-٥-٢ تولید مثل ٩٠
٤-٢-٧-٦ مهاجرت ٩١
٤-٢-٧-٧ تنظیم الگوریتم ٩٢
٤-٢-٤-٧ تابع هیبرید ٩٢
فصل پنجم : حل مسئله و مقایسه نتایج
٥-١ مقدمه ٩٧
٥-٢ حل مسئله به صورت چند متغیره ٩٧
٥-٣ بررسی نتایج ١٠٤
٥-٤ مقایسه نتایج ١٠٤
٥-٤-١ روش *Energy State* ١٠٥
٥-٤-٢ روش برنامه ریزی غیر خطی (*Nonlinear Programming*) ١٠٨
٥-٥ پیشنهادات ١١٠
منابع و مراجع ١١٢
پیوست‌ها:
پیوست الف : کد برنامه شبیه ساز
پیوست ب : کد برنامه تابع هدف
پیوست ج : برنامه رسم منحنی مسیری
پیوست د : ماتریس قیدها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ نمونه‌ای از یک فرایند بهینه سازی ۲
شکل ۱-۲ انواع روش‌های بهینه سازی ۳
جدول ۲-۱ طرح کلی الگوریتم ژنتیکی ۲٤
شکل ۲-۲ نمونه ای از فضای جستجو ۲٦
شکل ۲-۳ نمونه کروموزوم الگوریتم ژنتیکی ۲۹
شکل۲-٤ :Situation before ranking (graph of fitness) ۳۱
شکل۲- ٥ :Situation after ranking (graph of order numbers) ۳۱
شکل ۲-٦ نمونه از چرخ رولت ۳٤
جدول۲-۷ ارزش گذاری ۳٥
شکل ۲۸ جابجایی چند نقطه ای ۳۷
شکل۲-۹ عملگر جهش دودویی ٤۱
شکل ۳-۱ مدل جرم نقطه در صفحه قائم ٤٥
جدول ۳-۲ جدول ضرایب آئرودینامیکی برحسب ماخ ٤۷
جدول ۳-۳ جدول تغییرات تراست برحسب ارتفاع و ماخ ٤۸
نمودار۳-٤ تغییرات $CD_0 - M$ ٤۹
نمودار۳-٥ تغییرات $CL_\alpha - M$ ٥۰
نمودار۳-٦ تغییرات $\eta - M$ ٥۰
شکل ۳-۷ نمودار متغیر کنترل αبدست آمده از روش NLP ٥٤
شکل۳-۸ مدل سازی نمودار ۳-۷ به کمک نرم افزار ٥٥
شکل۳-۹ نمودارهای بدست آمده از شبیه ساز با استفاده از متغیر کنترل نمودار ۳-۷ ٥٦
شکل۳-۱۰ نتایج بدست آمده از نمودار ۳-۷ و ارائه شده در مرجع[۳] ٥۷
شکل ۳-۱۱ نمودار حاصل از روش انتخاب اتفاقی ٥۸
شکل ۳-۱۲ نمونه‌هایی از توابع تعلق مورد استفاده در سیستم‌های فازی ٦۱
شکل ۳-۱۳ نمونه منحنی حاصل از روش سیستم فازی ٦۲
جدول ۳-۱٤ پارامترهای انتخابی برای تولید منحنی زاویه حمله ٦۸
شکل۳-۱٥ منحنی تولید شده با استفاده از پارامترهای جدول ۳-۱٤ ٦۹
شکل ۳-۱٦ منحنی اولیه برای رسیدن به ارتفاع ft ٦٥٦۰۰ ۷۰

جدول ۳–۱۷ پارامترهای منحنی زاویه حمله اولیه ۷۰
شکل ۳–۱۸ نمودارهای بدست آمده از شبیه ساز با استفاده از منحنی ۳–۱٦ ۷۱
شکل ٤–۱ جعبه محاورهای مربوط به جعبه ابزار *gatool* ۸۰
شکل۵–۱ نمایش بهترین افراد پس از ۹۲ نسل ۹۸
شکل ۵–۲ نمودار بهترین افراد مربوط به بهینه سازی زمان نهایی (تلورانس تغییرات کم) ۹۹
شکل ۵–۳ اجرای شبیه ساز با متغیر کنترل تولیدی از بهینه سازی مرحله اول ۹۹
شکل ۵–٤ نمودار بهترین افراد برای بهینه سازی همزمان سرعت وزمان نهایی ۱۰۰
شکل ۵–۵ نمودارهای بهترین افراد برای بهینه سازی سرعت و زمان با ضرایب مختلف ۱۰۱
شکل ۵–٦ نتایج حاصل از اجرای برنامه با زاویه حمله بدست آمده از مرحله دوم ۱۰۱
جدول ۵–۷ پارامترهای نهایی بدست آمده برای تولید منحنی α بهینه ۱۰۲
شکل ۵–۸ منحنی زاویه حمله بهینه ۱۰۲
شکل ۵–۹ نتایج نهایی بدست آمده از شبیه ساز با استفاده از متغیر کنترل بهینه جواب ۱۰۳
شکل ۵–۱۰ نمودار تغییرات سرعت برحسب ارتفاع ۱۰۷
شکل ۵–۱۱ نمودار ارتفاع برحسب برد ۱۰۸
شکل ۵–۱۲ نتایج بدست آمده از روش برنامه ریزی غیرخطی ۱۰۹

فصل اول

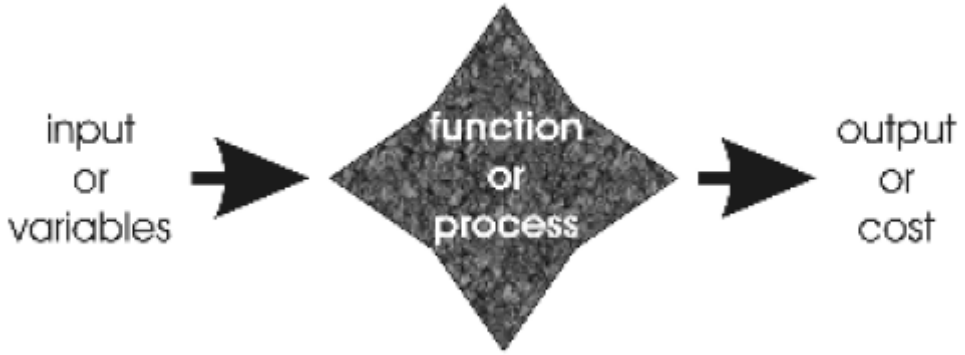
مقدمه

۱ – ۱ مقدمه

در واقع بهینه‌سازی اصلاح یک ایدهٔ جدید مطرح شده است. اصطلاح بهترین راه‌حل به این نکته اشاره دارد که بیشتر از یک راه‌حل برای مسئله وجود دارد. تعریف کلمه بهترین وابسته به مسئله مورد بررسی ، روش حل آن و تلورانس جواب قابل قبول است بنابراین بهترین راه‌حل بستگی به کسی دارد که مسئله را فرمول‌بندی می‌کند. در مسئله‌ای که یک ریشهٔ مشخص وجود دارد تعریف بهترین جواب واضح‌تر است.

۱–۲ تعریف بهینه‌سازی

در زندگی ما با تعداد زیادی مجال برای بهینه‌سازی (به‌گزینی) مواجه می‌شویم. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود یک فرایند بهینه سازی :



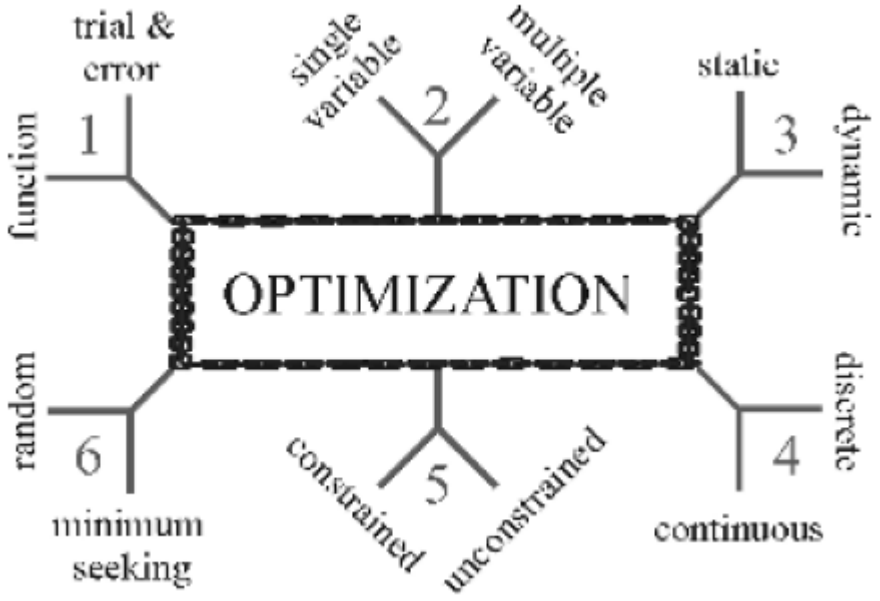
شکل ۱–۱ نمونه‌ای از یک فرایند بهینه سازی

ورودی شامل مواردی از قبیل متغیرها، فرآیند یا تابع عبارتست از تابع هزینه تابع هدف یا تابع ارزیابی و خروجی عبارتست از هزینه یا شایستگی. اگر فرآیند یک آزمایش باشد ورودی‌ها عبارتند از ورودی‌های فیزیکی به آزمایش . طبق تئوری کوانتوم بی‌نهایت بُعد وجود دارد که هر بعد معادل یک تصمیم است. زندگی شرایط بسیار غیرخطی دارد

بنابراین بی‌نظمی در جهان بیشترین نقش را دارد و کوچکترین آشفتگی در شرایط اولیه ممکن است باعث نتایج غیرقابل پیش‌بینی شود.

۱-۳ دسته‌بندی روشهای بهینه‌سازی

روشهای بهینه‌سازی را می‌توانیم به شش روش تقسیم کنیم که شامل روشهای سعی و خطا، یک بعدی و دو بعدی، دینامیکی و استاتیکی، ناپیوسته و هموار، مقید و نامقید و اتفاقی و غیر اتفاقی می‌باشد. طبق شکل زیر می‌توانیم روشهای بهینه‌سازی را به شش بخش تقسیم کنیم که هیچکدام از این شش روش انحصاری و جدا از هم نیستند بعنوان مثال ممکن است یک روش بهینه‌سازی دینامیکی مقید یا نامقید باشد. یا ممکن است بعضی از متغیرهای یک مسئله پیوسته و برخی ناپیوسته باشند. مختصراً این روشها عبارتند از:



شکل ۱-۲ انواع روش‌های بهینه سازی

۱. سعی و خطا: این روش در واقع فرآیندی است که در آن متغیرهای مؤثر بر خروجی تغییر می‌کند بدون اینکه از پروسه‌ای که روی خروجی در سیستم اثر می‌گذارد اطلاع کافی داشته باشیم مثل تنظیم آنتن روی تلویزیون.

۲. یک بعدی و دو بعدی: اگر متغیر کنترل یکی باشد بهینه‌سازی یک بعدی و در صورت افزایش، این تعداد ابعاد نیز زیادتر می‌شوند. هر چه تعداد متغیرها بیشتر باشد بهینه‌سازی مشکل‌تر است اما مسائل چند بعدی غالباً قابل تبدیل به یکسری مسائل یک بعدی هستند.

۳. دینامیکی و استاتیکی: بهینه‌سازی دینامیکی به این معنی است که خروجی تابعی از زمان است و در حالت استاتیکی خروجی مستقل از آن است.

٤. ناپیوسته و هموار: بهینه‌سازی می‌تواند همچنین با متغیرهای هموار یا ناپیوسته مشخص شود. متغیرهای مستقل فقط تعداد محدودی مقدار ممکن دارند در حالیکه متغیرهای پیوسته تعداد بی‌نهایت مقدار ممکن می‌توانند داشته باشند. روش ناپیوسته با عنوان بهینه‌سازی ترکیبی نیز شناخته می‌شود.

۵. مقید و نامقید: بهینه‌سازی مقید عبارتست از مجموعه‌ای از متغیرها با قیود مساوی یا نامساوی در تابع هدف و بهینه‌سازی نامقید اجازه می‌دهد که متغیرها هر مقدار دلخواهی داشته باشند غالباً می‌توان یکسری متغیر مقید را با یک انتقال به متغیرهای نامقید تبدیل کرد.

٦. اتفاقی و غیر اتفاقی: بعضی الگوریتمهای بهینه‌سازی سعی به حداقل کردن تابع هدف با استفاده از یک مجموعه‌ای از مقادیر متغیر را دارند. این نوع بهینه‌سازی سریع به جواب می‌رسد اما بیشتر به جواب می‌نیمم محلی می‌رسد این روشها

روشهای سنتی بهینه‌سازی و با قیدهای محاسباتی انجام می‌شوند. در روش اتفاقی از برخی محاسبات احتمالی برای پیدا کردن مجموعه‌ای از متغیرها استفاده می‌شود. این روشها آهسته‌تر عمل می‌کنند اما بسیار موفق‌تر در یافتن می‌نیمم کلی عمل می‌کنند.

۱-۳-۱ بهینه‌سازی طبیعی

یکی از مباحث مطرح شده روشهای بهینه‌سازی طبیعی هستند که اخیراً بیشتر مورد توجه واقع شده‌اند از قبیل الگوریتم ژنتیکی (هالند ۱۹۷۵)، بهینه‌سازی کلونی (ماریا ۱۹۹۷)، الگوریتم‌های تکاملی (شوفل ۱۹۹۵)، اساس کار این روشها ایجاد نقاط جدید در فضای جستجو با بکار بردن یکسری عملگر بر روی نقاط جدید بطور آماری به سمت محلهای بهتر و بهینه‌تر فضای جستجو است. این روشها به جستجوی هوشمند یک فضای حل بزرگ اما محدود با استفاده از روشهای آماری اعتماد می‌کند. این روشها نیازی به مشتق‌گیری از تابع هدف ندارند و به همین دلیل می‌تواند با متغیرهای ناپیوسته و توابع هدف غیر هموار بکار گرفته شود.

۱-٤ کنترل بهینه

نحوه عملکرد قابل قبول معمولا بر حسب مشخصه های زمانی نظیر زمان صعود، زمان قرار، حداکثر جهش و یا بر حسب مشخصه های فرکانسی نظیر حد فاز، حد دامنه و پهنای باند بیان می‌شود. لیکن با این روش ، در مورد سیستمهایی با چند ورودی و چند خروجی که نیازهای تکنولوژیکی امروزه برآورده می نمایند، باید معیارها یا نحوه عملکرد

های گوناگونی صادق باشند. طرح سیستم کنترل موقعیت هواپیما که مصرف سوخت را نیز حداقل نماید با استفاده از روشهای متعارف امکان پذیر نیست. روش جدید و مستقیم طرح چنین سیستمهای پیچیده‌ای که کنترل بهینه *OptimalControl* نامیده می‌شوند، با توسعه کامپیوترهای دیجیتال ، امکان پذیر شده است .

کنترل بهینه منتج شده از حساب تغییرات است و تاریخچهٔ آن به بیش از ۳۶۰ سال پیش باز می‌گردد، اما علاقه به این مسئله در واقع رشد فزاینده‌ای داشت پس از ظهور کامپیوتر و با موفقیت بی‌نظیر در پیش بینی مسیر بهینه و کاربردهای آن در هوا فضا در اوایل دههٔ ۱۹۶۰ اوج گرفت. در واقع هدف سیستم کنترل بهینه تعیین سیگنالهای کنترل بطوری است که در محدودیتها یا قیود فیزیکی صدق کرده و در ضمن نحوهٔ عملکرد یا معیار معینی را حداقل و یا حداکثر نماید. بعداً تعریف ریاضی صحیح‌تری در مورد تئوری کنترل بهینه داده خواهد شد. برای حل یک مسئله کنترل بهینه موارد زیر احتیاج است:

۱. بیان ریاضی یا مدل سیستمی که باید کنترل شود.

۲. بیان محدودیت‌های فیزیکی

۳. تعیین نحوه عملکرد سیستم

در ادامهٔ بحث به تمام مراحل بالا یک به یک اشاره شده و مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۱-۵ مسئله کنترل بهینه

نمونه ای از مسئله کنترل بهینه که در ادامه بحث به آن اشاره خواهدشد به شکل زیر است:

کنترل قابل قبول u^* که باعث می‌شود سیستم

$$\dot{x}(t) = a(x(t), u(t), t) \qquad (۱-۱)$$

مسیر قابل قبول x^*را تعقیب نموده و تابع ارزیابی زیر را حداقل نماید:

$$J = h(x(t_f), t_f) + \int_{t_0}^{t_f} g(x(t), u(t), t)dt, \qquad (۱-۲)$$

u^* کنترل بهینه و x^* منحنی مسیر بهینه می‌باشد.

۱-۵-۱ مسائل حداقل زمان

موضوع مسائل حداقل زمان عبارتست از انتقال یک سیستم از شرایط اولیه به شرایط هدف مشخص در حداقل زمان که طی آن کنترل و متغیرها و قیدها ارضاء شوند. در بیان مسئله به صورت ریاضی داریم:

$$\dot{x} = a(x(t), u(t), t) \qquad (۱-۳)$$

بایستی این سیستم از یک وضعیت اولیه اختیاری x_0 به مجموعه هدف $S(t)$ با حداقل کردن تابع هدف به صورت زیر برسد :

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_f} dt = t_f - t_0 \qquad (۱-٤)$$

همانطور که پیش از این نیز گفته شده معمولا متغیر های کنترل قیودی بصورت زیر نیز می‌توانند داشته باشند:

$$|u_i(t)| \le 1, ...i = 1,2,..., m, ...t \in [t_0, t^*] \qquad (۱-۵)$$

که در آن t^* حداقل زمان لازم برای رسیدن به مجموعه هدف می‌باشد. یکی از روشهای تعیین قانون کنترل بهینه برای این مسائل استفاده از اصل حداقل یابی است که در فصل

پنجم به بررسی این روش و نتایج حاصل از آن پرداخته می‌شود. با این حال دو مشخصه مهم برای حل مسائل حداقل زمان بخصوص با استفاده از اصل حداقل یابی عمومیت دارد که عبارتند از:

۱. برای مقادیر خاص از شرایط اولیه لازم برای حل، کنترل بهینه زمانی وجود نخواهد داشت.

۲. اگر کنترل بهینه وجود داشته باشد، این کنترل در تمام مدت عملکرد، حداکثر نیرو خواهد بود.

یکی از مباحثی که نقش کلیدی در مسائل بهینه‌سازی هوا فضا ایفا می‌کند مسئله بهینه‌سازی مسیر حرکت است. زیرا هواپیماها و فضاپیماها در شرایط محیطی بسیار سخت بایستی به حداکثر توانایی خود دست یابند. بنابراین روشهای عددی زیادی برای حل مسائل بهینه‌سازی مسیر در حوزه هوا فضا بکار رفته‌اند. این روشها به دو دسته تقسیم می‌شوند روشهای مستقیم و غیرمستقیم ،روشهای غیرمستقیم که بر مبنای اطلاعات گرادیان تابع عمل می‌کنند مانند، روشهای *MulipleShootingMethod* ، اصل حداقل یابی پونتریاگن و غیره که در مورد این روشها مباحث بسیاری مطرح شده است. روش‌های مستقیم، در این روش‌ها مسئلهٔ بهینه‌سازی مسیر تبدیل به یک برنامه‌ریزی غیرخطی شده و بوسیلهٔ $NLP(Non-Linear\,\mathrm{Pr}ogram\,\mathrm{min}\,g)$ حل می‌شود. در مقایسه با روشهای غیرمستقیم روشهای مستقیم مزایایی از قبیل همگرایی مناسب و قابلیت انعطاف در حل مسائل تجربی پیچیده را دارد. بعضی از محققان معتقدند که روشهایی از قبیل الگوریتم ژنتیکی و بر مبنای محاسبات تکاملی برای یافتن راه‌حلهای اولیهٔ بهینه برای حل با