دانشکده علوم

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی ریاضیات کاربردی

بهینه‌سازی چندهدفه، با استفاده از الگوریتم با هم تکاملی ژنتیک

به وسیله‌ی

سپهر مشکین‌فام‌فرد

استاد راهنما:

دکتر کورش زیارتی

اسفند ۱۳۸۸

به نام ایزد یکتا

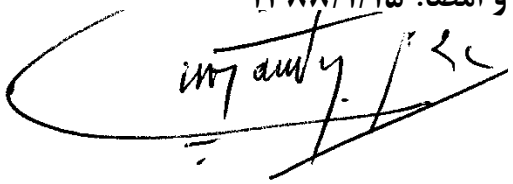
بـــه نـــام خـــدا

اظهار نامـــه

اینجانب سپهر مشکین فام فرد دانشجوی رشته ی ریاضیات گرایش کاربردی اظهار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی از منابع دیگران استفاده کرده ام.نشانی دقیق و مشخصات کامل آنرا نوشته ام.همچنین اظهار می کنم که تجقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاورد های آنرا منتشر ننموده و در اختیار غیر قرار ندهم.کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فردی و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: سپهر مشکین فام فرد

تاریخ و امضا: ۱۳۸۸/۱/۱۵



به نام خدا

بهینه‌سازی چندهدفه، با استفاده از الگوریتم با هم تکاملی ژنتیک

به وسیله ی:

سپهر مشکین فام فرد

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

ریاضی کاربردی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر کورش زیارتی، استادیار بخش مهندسی و علوم کامپیوتر و فناوری اطلاعات (رئیس کمیته) .....

دکتر علی حمزه، استادیار بخش مهندسی و علوم کامپیوتر و فناوری اطلاعات .....

دکتر محمد باقر احمدی، استادیار بخش ریاضی.....

دکتر بهرام خانی، دانشیار بخش ریاضی .....

اسفند ۱۳۸۸

تقدیم به:

مادر و پدر عزیز و بهتر از جانم که همواره سایه سر و وجودشان در جایجای زندگی مرا از هر چه ناملایمات و ناامیدی محفوظ داشته و هیچ گاه مرا در این راه پر فراز و نشیب تنها رها نکرده، با غمهایم گریستند و با شادیهایم، شاد شدند.

بر دستهای پر مهرشان بوسه می زنم و طول عمر با عزت را برایشان آرزو می کنم.

سپاسگزاری

سپاس فراوان از مشوق و استاد گرامی جناب آقای دکتر کورش زیارتی که گذران از این مسیر پرپیچ و خم و رسیدن به نقطه کنونی بی مدد ایشان هیچگاه میسر نمی شد و آنچه هستم و آنچه دارم را مدیون تلاشهای دلسوزانه و راهنمایی های صبورانه ایشان هستم. همچنین قدردان زحمات فراوان جناب آقای دکتر علی حمزه برای پیشبرد این پایان نامه و ارائه مقاله، می باشم و دستشان را صمیمانه می فشارم. از اساتید مشاور جناب آقای دکتر احمدی و جناب آقای خانی که افتخار تلمّز در کلاسهایشان را داشتم سپاسگذارم و توفیق روز افزون برایشان آروزمندم.

چکیده

بهینه‌سازی چندهدفه، با استفاده از الگوریتم با هم تکاملی ژنتیک

به کوشش:
سپهر مشکین‌فام‌فرد

امروزه الگوریتمهای فرا ابتکاری از جایگاهی ویژه در حل مسائل بهینه سازی برخودارند. از جمله این الگوریتمها می توان از الگوریتمهای تکاملی نام برد اساس ایده الگوریتمهای تکاملی همانا، کد کردن جوابهای کاندید برای یک مسئله خاصی و تشکیل جمعیت کروموزمها و در ادامه کار کردن با جمعیت کروموزومی درتکامل این جمعیت توسط روشهایی همچون انتخاب و تولید مثل می باشد. الگوریتم ژنتیک یکی از شناخته شده ترین روشها در این قالب می باشد.

مسائل چند هدفه، مسائلی می باشند که مقصود از طرح آنها همواره بهینه سازی همزمان M تابع هدف گوناگون است. در این راستا ممکن است که متصور کمینه سازی همه توابع باشد یا اینکه ترکیبی از کمینه سازی و بیشینه سازی این M تابع هدف مورد نظر باشد که در ادامه به بررسی کامل آنها می پردازیم.

الگوریتمهای ژنتیک یکی از معمول ترین روشها در حل مسائل بهینه سازی چند هدفه می باشند. فونسکاوفمینگ اولین کسانی بودند که به طرح رابطه بینی تابع برازندگی از الگوریتم ژنتیک و مفهوم بهینگی پرتو در مسائل بهینه سازی چند هدفه پرداختند. در این پایان نامه در مورد این مفاهیم و روشهای جدیدتر بحث خواهیم کرد.

در نهایت الگوریتمهای با همه تکاملی ژنتیک گونه ای از الگوریتمهای تکاملی می باشند که در آنها برازندگی هر کاندیدا بر اساس رابطه آنها کاندید با بقیه افراد، ارزش گذاری می شود یکی از انواع این روشها MOCCGA می باد در این پایان نامه، بر آنیم تا روش MOCCGA را با تغییراتی از نحوه ی تأمین گوناگونی، به روشی کار آمدتر و سریع تر از لحاظ سختی محاسبات تبدیل کنیم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

بخش اول: مقدمه

۱-۱- محاسبات تکاملی ۲

۱-۲- مسئله بهینه‌سازی چندهدفه ۳

۱-۳- مفهوم پَرِتو ۵

۱-۴- روش‌های با هم تکاملی (MOEA) ۵

۱-۵- الگوریتم‌های ژنتیک با هم تکاملی همیارانه ۷

بخش دوم: الگوریتم ژنتیک

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- محاسبات تکاملی ۹

۲-۳- سیر تاریخی محاسبات تکاملی ۱۰

۲-۴- مقدمه‌ای بر الگوریتم‌های ژنتیک ۱۱

۲-۵- دورنمای زیست‌شناسی ۱۲

۲-۶- ساختار اولیه الگوریتم ژنتیک ۱۴

۲-۷- مقایسه الگوریتم ژنتیک با سایر روش‌های بهینه‌سازی ۱۷

۲-۸- واژه‌شناسی ۱۸

۲-۹- اپراتورهای الگوریتم ژنتیک (GA) ۲۱

عنوان **صفحه**

بخش سوم: مسائل بهینه‌سازی چند هدفه و الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه

۳-۱- مقدمه ۲۸

۳-۲- مسائل بهینه‌سازی چندهدفه و الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه ۲۸

۳-۲-۱- بهینه‌سازی تک هدفه ۲۹

۳-۲-۲- مسئله بهینه‌سازی چند هدفه ۲۹

۳-۲-۳- کمینه سراسری MOP ۳۲

۳-۳- روند الگوریتم تکاملی برای مسائل چند هدفه ۳۳

۳-۳-۱- هدف‌های متداول MOEA و طراحی اپراتور ۳۴

۳-۳-۲- رتبه‌بندی بر اساس اصل غلبه ۳۵

۳-۳-۳- حفظ تنوع ۳۷

۳-۴- ساختار عمومی الگوریتم MOEA ۴۰

۳-۵- ساختار MOEA های گوناگون ۴۱

۳-۵-۱- الگوریتم ژنتیک چند هدفه (MOGA) ۴۱

۳-۵-۲ الگوریتم ژنتیک از طریق طبقه‌بندی نامغلوب (NSGA) ۴۲

۳-۵-۳ راهبرد تکامل بایگانی پَرِتو (PAES) ۴۵

بخش چهارم: روشهای با هم تکاملی MOEA

۴-۱- مقدمه ۴۹

۴-۲- روش‌های با هم تکاملی ۴۹

۴-۳ الگوریتمهای ژنتیک با هم تکاملی همیارانه ۵۰

۴-۴ الگوریتم ژنتیک با هم- تکاملی همیارانه چند هدفه ۵۲

۴-۵ الگوریتم ژنتیک با هم تکاملی همیارانه بر اساس رتبه‌بندی نامغلوب

(NSCCGA) ۵۴

۴-۶ الگوریتم با هم تکاملی همیارانه ژنتیک چندهدفه بر اساس شبکه شطرنجی ۵۵

عنوان **صفحه**

۴-۶-۱ روش حفظ تنوع در PAES ۵۶
۴-۶-۲ ساختار کلی GBCCGA ۵۶
۴-۶-۳ مسائل آزمون و نتایج اجرای الگوریتم برای مسائل آزمون ۶۰

فهرست منابع و مآخذ ۶۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱:نحوه بیان کروموزم ۱۸

شکل۲: نمایش اژن در کروموزوم..... ۱۹

شکل ۳: نمایش جمعیت..... ۲۰

شکل ۴: رمزگذاری دو دویی ۲۰

شکل ۵: نمونه‌گیری فراگیر تصادفی..... ۲۳

شکل ۶: ترکیب یک نقطه‌ای ۲۴

شکل ۷: ترکیب دو نقطه‌ای ۲۴

شکل ۸: ترکیب یکنواخت..... ۲۵

شکل ۹: رتبه غلبه با استفاده از گروه بندی رتبه های یکسان ۳۶

شکل ۱۰: شمارغلبه با استفاده از گروه بندی شمارهای یکسان ۳۶

شکل۱۱: مثالی تصویری از تخصیص برازندگی..... ۳۸

شکل ۱۲: مثالی تصویری از آشیانه زنی بر اساس شبکه شطرنجی..... ۳۹

شکل ۱۳: غلبه برازندگی در MOGA : برازندگی خام در این روش برابر است با تعداد جواب های غالب..... ۴۲

شکل۱۴-۱جوابهای ناغالب برای ZDT1 با(الف) OCCGA(ب)GBCCGA

(پ)NSCCGA..... ۶۱

شکل۱۴-۲:جوابهای ناغالب برای ZDT2 با (الف) OCCGA (ب)GBCCGA

(پ)NSCCGA..... ۶۱

عنوان **صفحه**

شکل۱۴-۳:جوابهای ناغالب برایZDT3 با(الف)MOCCGA ب)GBCCGA
(پ)NSCCGA ۶۲
شکل۱۴-۴:جوابهای ناغالب برایZDT4 با(الف) OCCGA (ب)
GBCCGA(پ)NSCCGA ۶۲
شکل۱۴-۵:جوابهای ناغالب برای ZDT5 با (الف) MOCCGA(ب)GBCCGA ۶۳

بخش اول

مقدمه

ما بر آنیم که در این پایان‌نامه به تحلیل انواع خاصی از الگوریتم‌های ابتکاری یعنی الگوریتم‌های با هم تکاملی همیارانه ژنتیک که همگی از خانواده‌ی الگوریتم‌های ژنتیک می‌باشند بپردازیم و به تفصیل عملکرد این الگوریتم‌ها در حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه را بررسی کنیم. در این میان به بررسی مزایا و نقیصه‌ها و ویژگی‌هایی که آنها را از هم متمایز می‌کنند بپردازیم و در نهایت ایده پیشنهادی خود را در این زمینه معرفی کرده و به بوته آزمایش بسپاریم و دلائل برتری الگوریتم پیشنهادی را با توجه به مسائل آزمون معمول در الگوریتم‌های ابتکاری، اثبات کنیم.

۱-۱ محاسبات تکاملی

در یک محدوده زمانی مشخص، موجودات زنده‌ای که قابلیت بیشتری برای پیدا کردن و استفاده از منابع را داشته باشند و در تولید مثل موفق عمل کنند، موجوداتی می‌باشند که اولادشان در نسل‌های بعدی رو به ازدیاد است موجودات زنده‌ای که به هر دلیل از چنین قابلیتی محروم باشند اولادشان در نسلهای بعدی رو به کاستی و انقراض است واصطلاحاً گوئیم دسته اوّل شایسته‌تر از دسته دوّم می‌باشند.

با گذشت زمان، تمامی جمعیت یک اکوسیستم را گوئیم تکامل یافته اند اگر این اکوسیستم حاوی موجودات زنده‌ای باشد که به طور میانگین- شایسته‌تر از موجودات زنده در نسلهای قبلی باشند.روشهای محاسبات تکاملی[1] [16,17 ,18] یا به طور مخفف (EC)، این اصول را در قالب یک رشته از الگوریتمها خلاصه می‌کنند و برای پیدا کردن جوابهای بهینه یک مسئله از آن یاری می‌جویند.

مهمترین جنبه‌ای که یک الگوریتم جستجوی تکاملی را با روش جستجوی سنتی متمایز

[1] - Evolutionary Computations

می‌کند همانا جمعیت محور بودن آن است بدین گونه که در طول تغییرات نسلهای پی‌درپی از انبوه افراد، یک الگوریتم تکاملی جستجویی مؤثر را انجام می‌دهد و جستجو تا حد زیادی هدفمند است

۲-۱ مسئله بهینه‌سازی چند هدفه

مسئله بهینه‌سازی چند هدفه [1,19] را می‌توان مسئله پیدا کردن: یک بردار از متغیرهای تصمیم که قیود را برآورده می‌سازد و تابع برداری را که مؤلفه‌هایش نمایشگر تابع‌های هدف می‌باشد را بهینه می‌سازد. این توابع عمدتاً با یکدیگر در تقابل هستند. بنابر این عمل بهینه‌سازی به معنای پیدا کردن چنان جوابی است که بتواند به توابع هدف مقادیری القا کند که برای تصمیم گیرنده معقول باشد.

متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم کمیتهای عددی هستند که بایستی مقادیر آنها را در یک مسئله بهینه‌سازی انتخاب گردد.

این کمیتها را با نماد x_j که $j = 1,2,...,n$ مشخص می‌کنیم. بردار x، تشکیل شده از n متغیر تصمیم را به صورت زیر معرفی می‌کنیم.

که می‌توان راحت‌تر به صورت زیر نوشت:

$$X = [x_1, x_2, ..., x_n]^T$$

که T به معنای ترانس‌پوز می‌باشد.

قیود[1]

در اکثر مسائل بهینه‌سازی همواره محدودیتهایی بخاطر ویژگی‌های خاص محیط یا منابع قابل

[1] - constraints

دسترس، اعمال می‌شود. در کل جوابی قابل قبول است که در محدودیتها صدق کند. این محدودیتها را در حالت عمومی، قید می‌نامیم. این قیود را به فرم نامساوی‌های ریاضی نشان می‌دهیم:

$$g_i(X) \le 0 \qquad i = 1,...,m$$

یا به صورت تساوی:

$$h_j(X) = 0 \qquad j = 1,...,p$$

خاطرنشان می‌سازیم که p یعنی تعداد قیود تساوی بایستی از تعداد متغیرهای تصمیم کمتر باشد، زیرا که اگر $p \ge n$ ، هیچ درجه آزادی برای بهینه‌سازی باقی نمی‌ماند. عدد درجه آزادی n-p می‌باشد.

واژه فضای هدف[1] یا فضای تابع هدف را برای نشان دادن فضای همدامنه (برد) به کار می‌بریم که در آن ارزش هر بردار را که توسط مسئله بهینه‌سازی چند هدفه مشخص می‌شود، تصویر می‌کنیم.

توابع هدف را، با نمادهای روبرو مشخص می‌کنیم:

$f_1(X), f_2(X),..., f_k(X)$ جایی که k تعداد توابع هدف در MOP می‌باشند که مورد حل قرار می‌گیرند. توابع هدف به صورت برداری از تابع $F(X)$ و به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$F(X) = [f_1(X), f_2(X),..., f_k(X)]^T$$

مجموعه تمامی n تایی‌های متشکل از اعداد حقیقی را با نماد R^n مشخص می‌کنیم و آن را n-فضای اقلیدسی می‌نامیم. دو فضای اقلیدسی را در مسئله بهینه‌سازی چند هدفه در نظر می‌گیریم.

- فضای n بعدی متغیرهای تصمیم جایی که هر محور مرتبت بایک مؤلفه بردارX می‌باشد.
- فضای k بعدی توابع هدف جایی که هر محور متعلق به یک مؤلفه بردار $f_k(X)$ می‌باشد.

[1] - objective space

تعریف (غلبه[1]) بردار x' را گوئیم بر بردار x'' بر اساس مسئله F غلبه می‌کند، اگر برای هر $i = 1,...,m$ داشته باشیم $f_j(x') \le f_j(x'')$ و حداقل یک j موجود باشد که $j \in \{1,...,m\}$ به طوری که $f_j(x') < f_j(x'')$ و آن را با نماد $x' \prec x''$ نمایش می‌دهیم.

هم‌چنین یک جواب را نامغلوب[2] می‌نامیم. هر گاه هیچ جواب دیگری در فضای جستجو بر آن غلبه نکند.

۱-۳ مفهوم پَرِتو[3]

با داشتن چند تابع هدف به جای یکی، مفهوم بهینه تغییر می‌کند. این بدلیل آن است که در مسئله بهینه‌سازی چند هدفه ، هدف همواره پیدا کردن یک میانگیری و مصالحه[4] خوب است تا پیدا کردن یک جواب تک برای بهینه‌سازی سراسری. مفهوم بهینه بایستی به طور عمومی تغییر می‌یافت و این کار توسط ویلفرد پَرِتو[5] تحقق پیدا کرد . یک جواب $X \in \Omega$ را گوئیم بهینه پَرِتو است (با توجه به فضای Ω) اگر و تنها اگر وجود نداشته باشد هیچ $X' \in \Omega$ به طوری که $v = F(X') = (f_1(X'),...,f_k(X'))$ بر $u = F(X) = (f_1(X),...,f_k(X))$ غلبه کند.

۱-۴ روشهای با هم تکاملی[6] MOEA

در طبیعت ارگانیسمهایی موجودند که با دیگر ارگانیسمها رابطه همزیستی[7] دارند.

واژه Symbiosis (همزیستی) را زندگی نزدیک دو ارگانیسم متفاوت گویند که ارتباطی با

---

[1] - Dominate
[2] - non-dominated
[3] - pareto
[4] - compromise
[5] - vilfredo pareto
[6] - Co-evolutionary
[7] - Symbiotic relationship

منفعت متقابل دارند تعدادی از الگوریتمهای تکاملی (EAها) و هم‌چنین MOEAها از روش همزیستی بهره می‌جویند.همچنین به تغییرات در یک ترکیب ژنتیکی از گونه‌ها (یا گروهی از گونه‌ها) که به عنوان جوابی به تغییرات ژنتیکی در گونه‌ای دیگر ایجاد شده باشد اصطلاحاً با هم تکامل[1] می‌گوئیم. به تعبیر عامیانه با هم تکامل، به تغییرات تکاملی دوجانبه بین گونه‌هایی که در رابطه متقابل با هم هستند اتلاق می‌شود. چنین تأثیر متقابلی می‌تواند منفی یا مثبت باشد.

محققان در محاسبات تکاملی به پرورش روشهای گوناگون با هم تکاملی پرداخته‌اند که در این روشها در حالت عادی دو یا چند گونه با هم در ارتباط می‌باشند. همچنین در بسیاری از حالات گونه‌ها به صورت مستقل توسط الگوریتمهای تکاملی (معمولاً الگوریتم ژنتیک)، تکامل می‌یابند. نکته کلیدی در الگوریتمهای با هم تکاملی [11,12,14] آن است که برازندگی یک فرد در یک جمعیت به افراد جمعیتهای دیگر (غیر از جمعیت خود فرد) بستگی دارد. در ادبیات محاسبات با هم تکاملی به دو کلاس اصلی الگوریتمهای با هم تکاملی برخورد می‌کنیم:

۱. آنهایی که بر اساس رابطه رقابت بنا شده‌اند (که با هم تکاملی رقابتی می‌نامیم). در این حالت برازندگی یک فرد بر اساس نتیجه رویارویی این فرد در مقابل افراد دیگر بدست می‌آید. این دسته از الگوریتمهای با هم تکاملی غالباً برای تحلیل بازی‌ها به کارمی‌روند.
۲. آنهایی که بر اساس رابطه همکاری بنا شده‌اند (که با هم تکاملی همیارانه می‌نامیم). در این حالت برازندگی یک فرد بر اساس نتیجه همکاری آن فرد با سایر افراد بدست می‌آید. این نوع از الگوریتمهای تکاملی معمولاً برای حل مسائل بهینه‌سازی به کار می‌روند. پس در ادامه به بررسی بیشتر دسته دوّم می‌پردازیم.

[1] - co-evolution

۵-۱ الگوریتمهای ژنتیک با هم تکاملی همیارانه [1]

یک زیرمجموعه جالب از الگوریتمهای با هم تکاملی همانا الگوریتمهای ژنتیک با هم تکاملی همیارانه می‌باشند که از این به بعد آن را با نام مخفف لاتین آن یعنی CCGA می‌شناسیم. این گونه از الگوریتم در اصل توسط پاتر[2] و دویونگ [3] [11] ارائه شد. این نوع الگوریتم کارکردی همزیستی دارد که در آن جمعیتهای گوناگون (جمعیتهایی از گونه‌های مختلف) تکامل می‌یابند. برای تشکیل یک جواب، یک فرد از هر جمعیت (گونه) انتخاب می‌گردد و با بقیه افراد انتخاب شده از جمعیتهای دیگر ادغام می‌شود. جواب مورد سنجش و ارزیابی قرار می‌گیرد و جمعیتهایی (گونه‌هایی) که جواب مورد نظر از آنها ساخته شده است بر اساس برازندگی این جواب ترکیبی، امتیاز می‌گیرند.پاتر و دویونگ نام الگوریتم خود را CCGA گذاشتند.

در این پایان‌نامه ابتدا در بخش دوم به تفصیل در باره‌ی مفهوم الگوریتم ژنتیک بحث می‌کنیم و به بیان جزئیات این نوع الگوریتم ابتکاری می‌پردازیم. در بخش سوم، به بررسی مسائل بهینه‌سازی چندهدفه و الگوریتم‌های تکاملی برای حل این گونه مسائل می‌پردازیم و در نهایت در بخش چهارم، پس از مرور چند نوع خاص از الگوریتم‌های با هم تکاملی به ارائه ایده جدید در طراحی این نوع الگوریتم‌ها پرداخته و کیفیت جوابهای این ایده ارائه شده را بررسی می‌کنیم.

[1] - cooperative co-evolutionary genetic algorithm
[2] - Potter
[3] - De Jong