



دانشگاه سوادکوه

از ژن ها تا منطق:

راهنمای جامع الگوریتم ژنتیک و منطق فازی

دکتر سیده فاطمه نورانی دکتر نسرين طاهرخانی

امروز کتابخوانی و علم‌آموزی نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.^۱

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتابخوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه مطالعه هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین سوره‌ای که بر آن فرستاده عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد

1. <https://farsi.khamenei.ir/message-content?id=2696>

شده است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده اند.

دانشگاه پیام نور با گستره جغرافیایی ایران شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه جا و همه وقت، به عنوان دانشگاهی کتاب محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره گیری از تجربه های گرانقدر استادان و صاحب نظران برجسته کشورمان، کتاب ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه مهم و خطیر یاری رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه خطیر یاری می رسانند، سپاسگزاری می نمایم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام نور را منزلگاه اندیشه سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام نور

فهرست مطالب

پیشگفتار یازده

بخش اول: الگوریتم‌های فراابتکاری و ژنتیک

فصل اول. الگوریتم‌های فراابتکاری.....	۳
هدف کلی.....	۳
هدف‌های یادگیری.....	۳
مقدمه.....	۳
۱-۱ دسته‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری.....	۵
خلاصه فصل اول.....	۹
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول.....	۹
خودآزمایی تشریحی فصل اول.....	۱۰

فصل دوم. الگوریتم ژنتیک.....

هدف کلی.....	۱۱
هدف‌های یادگیری.....	۱۱
مقدمه.....	۱۱
۱-۲ از تکامل داروین تا الگوریتم ژنتیک.....	۱۲
۲-۲ مزایا و معایب الگوریتم ژنتیک.....	۱۳
۳-۲ محیط‌های جست‌وجوی غیر محذب.....	۱۴
۴-۲ مفاهیم اصلی در الگوریتم ژنتیک.....	۱۵
۵-۲ نحوه نمایش کروموزوم‌ها.....	۱۷
۱-۵-۲ نمایش کروموزوم با مقادیر دودویی.....	۱۷

۱۸	۲-۵-۲ نمایش کروموزوم با مقادیر حقیقی
۱۸	۲-۵-۳ نمایش کروموزوم با عدد صحیح
۱۸	۲-۵-۴ نمایش کروموزوم‌ها به صورت جایگشت
۱۹	۲-۶-۱ جریان اصلی الگوریتم ژنتیک
۱۹	۲-۶-۲ ایجاد جمعیت اولیه
۲۰	۲-۶-۳ محاسبه برازندگی
۲۱	۲-۶-۴ انتخاب
۲۱	۲-۶-۵ بازترکیب
۲۲	۲-۶-۶ جهش
۲۲	۲-۶-۷ بررسی شرایط اتمام الگوریتم
۲۳	۲-۷-۱ روش‌های متداول انتخاب
۲۳	۲-۷-۲ انتخاب چرخ رولت
۲۴	۲-۷-۳ نمونه برداری فراگیر تصادفی
۲۵	۲-۷-۴ انتخاب مبتنی بر رتبه
۲۷	۲-۷-۵ مقیاس گذاری برازندگی
۲۹	۲-۷-۶ انتخاب چندجانبه
۲۹	۲-۸-۱ روش‌های بازترکیب
۳۰	۲-۸-۲ بازترکیب تک نقطه‌ای
۳۰	۲-۸-۳ بازترکیب دو/چند نقطه‌ای
۳۱	۲-۸-۴ بازترکیب یکنواخت
۳۲	۲-۸-۵ بازترکیب ترتیبی
۳۴	۲-۹-۱ روش‌های جهش
۳۴	۲-۹-۲ Flipping روش
۳۴	۲-۹-۳ روش مبادله
۳۵	۲-۹-۴ روش وارونگی
۳۵	۲-۹-۵ روش جهش درهم
۳۶	۲-۱۰-۱ درک نسخه‌گرایی
۳۶	۲-۱۱-۱ سوله‌گذاری و به اشتراک گذاری منابع
۳۷	خلاصه فصل دوم
۳۷	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم
۴۰	خودآزمایی تشریحی فصل دوم
۴۱	فصل سوم. کاربردهای الگوریتم ژنتیک
۴۱	هدف کلی
۴۱	هدف‌های یادگیری
۴۱	مقدمه

۴۲	۱-۳ مسئله N- وزیر
۴۳	۱-۱-۳ ساختار کروموزوم برای مسئله N-وزیر
۴۳	۲-۱-۳ ایجاد جمعیت اولیه
۴۳	۳-۱-۳ محاسبه برازندگی کروموزوم‌ها
۴۵	۴-۱-۳ انتخاب
۴۶	۵-۱-۳ باز ترکیب
۴۷	۶-۱-۳ جهش
۴۸	۷-۱-۳ بررسی شرایط اتمام الگوریتم
۴۸	۲-۳ مسئله کوله‌پشتی
۵۰	۱-۲-۳ ایجاد جمعیت اولیه
۵۱	۳-۲-۳ محاسبه برازندگی کروموزوم‌ها
۵۲	۴-۲-۳ انتخاب، باز ترکیب، جهش
۵۳	۳-۳ مسئله فروشنده دوره‌گرد
۵۵	۱-۳-۳ حل مسئله فروشنده دوره‌گرد با الگوریتم ژنتیک
۵۶	۴-۳ مسئله مسیریابی وسیله نقلیه
۵۸	۱-۴-۳ حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با الگوریتم ژنتیک
۵۹	۵-۳ مسئله رنگ‌آمیزی گراف
۶۰	۱-۵-۳ حل مسئله رنگ‌آمیزی گراف با الگوریتم ژنتیک
۶۲	۳-۵-۳ استفاده از محدودیت سخت و نرم در حل مسئله رنگ‌آمیزی
۶۳	خلاصه فصل سوم
۶۳	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم
۶۶	خودآزمایی تشریحی فصل سوم
۶۷	فصل چهارم. الگوریتم‌های گرگ خاکستری و بهینه‌سازی ازدحام ذرات
۶۷	هدف کلی
۶۷	هدف‌های یادگیری
۶۷	مقدمه
۶۸	۱-۴ بهینه‌سازی ازدحام ذرات
۷۰	۲-۴ الگوریتم گرگ خاکستری
۷۳	۳-۴ استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات در آموزش شبکه عصبی
۷۵	۱-۳-۴ شبکه‌های عصبی مصنوعی
۷۹	۲-۳-۴ آموزش شبکه‌های عصبی با PSO
۸۱	۴-۴ استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری برای انتخاب ویژگی
۸۳	خلاصه فصل چهارم
۸۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم
۸۵	خودآزمایی تشریحی فصل چهارم

بخش دوم: نظریه فازی

فصل پنجم. مقدمه‌ای بر نظریه فازی.....	۸۹
هدف کلی.....	۸۹
هدف‌های یادگیری.....	۸۹
مقدمه.....	۸۹
۱-۵ نظریه احتمال و نظریه فازی.....	۹۰
۲-۵ مجموعه‌های قطعی.....	۹۱
۱-۲-۵ عملیات در مجموعه‌های قطعی.....	۹۴
۲-۲-۵ خواص مجموعه‌ها.....	۹۶
۳-۵ مجموعه فازی.....	۹۸
۱-۳-۵ عملیات در مجموعه‌های فازی.....	۱۰۵
۲-۳-۵ مفهوم نرم.....	۱۰۸
۴-۵ روابط قطعی.....	۱۱۰
۱-۴-۵ عملیات در روابط قطعی.....	۱۱۲
۲-۴-۵ خصوصیات روابط قطعی.....	۱۱۳
۵-۵ روابط فازی.....	۱۱۶
۱-۵-۵ عملیات در روابط فازی.....	۱۱۸
۲-۵-۵ خصوصیات روابط فازی.....	۱۱۹
۳-۵-۵ ترکیب روابط فازی.....	۱۲۰
۶-۵ اعداد فازی.....	۱۲۲
۱-۶-۵ انواع اعداد فازی.....	۱۲۴
۲-۶-۵ عملیات ریاضی بر روی اعداد فازی.....	۱۲۷
۳-۶-۵ ترتیب اعداد فازی.....	۱۳۱
خلاصه فصل پنجم.....	۱۳۴
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم.....	۱۳۴
خودآزمایی تشریحی فصل پنجم.....	۱۳۶
فصل ششم. سیستم‌های فازی.....	۱۳۷
هدف کلی.....	۱۳۷
هدف یادگیری.....	۱۳۷
مقدمه.....	۱۳۷
۱-۶ متغیر زبانی.....	۱۳۸
۲-۶ استدلال فازی (استلزام منطقی فازی).....	۱۴۰
۱-۲-۶ انواع گزاره‌ها.....	۱۴۰
۱-۲-۶ گزاره‌های مرکب.....	۱۴۱
۲-۲-۶ قواعد اگر- آنگاه فازی.....	۱۴۵

۱۴۶	 ۱-۲-۲-۶ تفسیر قواعد اگر-آنگاه فازی
۱۴۹	 ۳-۶ استنتاج
۱۵۰	 ۱-۳-۶ استنتاج فازی
۱۵۳	 ۴-۶ سیستم خبره فازی
۱۵۴	 ۱-۴-۶ اجزای سیستم‌های خبره
۱۵۵	 ۲-۴-۶ انواع سیستم‌های خبره
۱۵۶	 ۳-۴-۶ تعریف سیستم خبره فازی
۱۵۶	 ۴-۴-۶ اجزای سیستم فازی
۱۵۷	 ۱-۴-۴-۶ فازیگر
۱۶۱	 ۲-۴-۴-۶ پایگاه دانش
۱۶۲	 ۳-۴-۴-۶ موتور استنتاج
۱۶۵	 ۴-۴-۴-۶ وافازیگر
۱۶۹	 خلاصه فصل ششم
۱۶۹	 خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل ششم
۱۷۰	 خودآزمایی تشریحی فصل ششم
۱۷۳	 پیوست الف: لیست الگوریتم‌های فراابتکاری تا قبل سال ۲۰۲۳
۱۸۹	 پاسخنامه
۱۹۱	 واژه‌نامه انگلیسی - فارسی
۱۹۵	 واژه‌نامه فارسی - انگلیسی
۱۹۹	 منابع

ستایش بی‌حد، خدای را زیبد که هستی او،
اول است، بی‌آنکه پیش از او اول و ابتدایی باشد،
و آخر است، بی‌آنکه پس از او آخر و انتهایی باشد.

پیشگفتار

تجربه چندین سال تدریس در مقاطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی، و احساس نیاز دانشجویان تحصیلات تکمیلی به مطالب علمی پراکنده در متون مختلف، جهت انجام پژوهش‌های پایان‌نامه و رساله، نویسندگان این کتاب را بر آن داشت که کتابی با محتوای مباحث ویژه جهت پوشش مطالب مورد نیاز دانشجویان ارشد مهندسی تدوین و تألیف نمایند. مطالب این کتاب شامل دو بخش اصلی است. در بخش اول الگوریتم فراابتکاری، در طی فصول اول تا چهارم مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه و در بخش دوم، منطق فازی که از مطالب مهم مورد استفاده در پایان‌نامه دانشجویان ارشد مهندسی است، تشریح و تدوین شده است. بخش دوم مطالب در فصول پنجم تا ششم گنجانده شده است و در خصوص نظریه فازی و استنتاج فازی بحث خواهد نمود.

امید است دانشجویان عزیز پس از مطالعه این کتاب بتوانند، مقدمه‌ای بر مباحث الگوریتم ژنتیک، الگوریتم فراابتکاری و فازی کسب نمایند. بدیهی است تبحر لازم در این خصوص، با انجام پروژه‌های عملی با استفاده از زبان‌های مطرحی چون پایتون و متلب میسر خواهد شد.

در پایان مؤلفین وظیفه خود می‌دانند که از زحمات تمامی اساتید و دوستانی که بی‌شک این کتاب بدون راهنمایی و یاری آن‌ها به ثمر نمی‌رسید، تشکر و قدردانی نمایند. نویسندگان کتاب، بر خود وظیفه می‌دانند که تشکر ویژه داشته باشند از **دکتر**

عبدالرضا میرزایی (عضو علمی دانشگاه صنعتی اصفهان) و دکتر غلامعلی منتظر
(عضو علمی دانشگاه تربیت مدرس) که افتخار شاگردی بزرگواران، انگیزه اصلی
تدوین این کتاب است. امیدواریم سایه علمی آنها روزبه‌روز پربارتر باشد.
در آخر، سخن را با تشکر از تمامی اساتید و دانشجویان عزیزی که با ارسال
پیشنهادها، انتقادات و نظرات خود به‌منظور بهتر و پربار کردن این کتاب برای مؤلفین
ارسال می‌دارند، تا در چاپ‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرد، به پایان می‌رسانیم.

دکتر سیده فاطمه نورانی

Sf.noorani@pnu.ac.ir

دکتر نسرين طاهرخانی

n.taherkhani@pnu.ac.ir

بخش اول

الگوریتم‌های فراابتکاری و ژنتیک

فصل اول

الگوریتم‌های فراابتکاری

هدف کلی

در این فصل، مبانی اولیه الگوریتم‌های فراابتکاری، مزایای آن‌ها و نحوه مدل کردن مسائل در قالب این الگوریتم‌ها بیان خواهد شد.

هدف‌های یادگیری

- با مطالعه این فصل، انتظار می‌رود دانشجو بتواند:
- تعریفی از الگوریتم‌های فراابتکاری ارائه دهد.
 - دسته‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری را توضیح دهد.
 - دسته‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری را بر اساس روش الهام گرفته شده، توضیح دهد.

مقدمه

یک مهندس یا دانشمند ایده جدیدی را ایجاد می‌کند و بهینه‌سازی^۱، آن ایده را بهبود می‌بخشد. بهینه‌سازی، در واقع تلاش در ایجاد تغییرات در یک مفهوم اولیه و بهبود آن ایده با استفاده از اطلاعات به دست آمده است. در این خصوص، در صورتی که متغیر مورد نظر برای بهینه‌سازی را بتوان به صورت الکترونیکی ذخیره نمود؛ می‌توان از کامپیوتر به عنوان یک ابزار مناسب برای بهینه‌سازی استفاده نمود؛ اما آیا این به این معنی است که مقداری داده به

کامپیوتر بدهیم و راه‌حل توسط کامپیوتر استخراج شود؟ اغلب اوقات پاسخ این سؤال منفی است. سؤال دیگر این است که آیا راه‌حلی که برای بهینه‌سازی ارائه می‌شود، همیشه بهترین راه‌حل است؟ در واقع پاسخ این سؤال سخت است.

روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق^۱ و الگوریتم‌های تقریبی^۲ تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق می‌توانند جواب بهینه را به‌صورت دقیق پیدا کنند؛ اما در مسائل بهینه‌سازی سخت کارایی کافی ندارند و زمان اجرای آن‌ها با افزایش ابعاد مسائل، به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های تقریبی می‌توانند جواب‌های قابل قبول و نزدیک به بهینه را در زمان کوتاهی کشف نمایند.

در یک دسته‌بندی، الگوریتم‌های تقریبی شامل سه دسته است:

- الگوریتم‌های ابتکاری^۳: در الگوریتم‌های ابتکاری، سعی بر این است که کل فضای حالت یک مسئله جست‌وجو نشود. در حقیقت تخمینی از مسئله در نظر گرفته می‌شود و هر چه این تخمین دقیق‌تر باشد، عملکرد الگوریتم هم بهتر خواهد بود. نکته مهم این است که میزان دقت این تخمین قطعی نیست. مهم‌ترین مشکل این الگوریتم‌ها گرفتار شدن در بهینه محلی است. الگوریتم‌های تپه‌نوردی و A^* از این دسته الگوریتم‌ها هستند.
 - الگوریتم‌های فراابتکاری^۴: که با عنوان فرا تکاملی یا فرااکتشافی نیز نامیده می‌شوند، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهایی برای گریز از گیرافتادن در نقاط بهینه محلی هستند و قابلیت به‌کارگیری در طیف گسترده‌ای از مسائل را دارند.
 - الگوریتم‌های فوق ابتکاری^۵: این الگوریتم‌ها، روش‌های کارآمد و مؤثری برای حل مسائل محاسباتی پیچیده هستند. این الگوریتم‌ها به‌جای آنکه مستقیماً به دنبال جواب بگردند، عملیات جست‌وجو را بر روی فضای تشکیل شده توسط مجموعه‌ای از الگوریتم‌های فراابتکاری سطح پایین اجرا می‌کنند.
- با توجه به کاربرد فراگیر الگوریتم‌های فراابتکاری، در این فصل و دو فصل آتی به‌طور مفصل در خصوص این الگوریتم‌ها توضیح داده خواهد شد.

1. Exact

2. Approximate Algorithms

3. Heuristic

4. Meta Heuristic

5. Hyper Heuristic

۱-۱ دسته‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری

الگوریتم‌های فراابتکاری باتوجه به ظرفیت و قابلیت حل مسائل، با استقبال بسیاری روبه‌رو شده‌اند. تاکنون بیش از ۵۰۰ نوع الگوریتم مختلف فراابتکاری پیشنهاد و در مسائل مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. پیوست «الف»، لیستی از الگوریتم‌های فراابتکاری تا آخر سال ۲۰۲۳ را نشان می‌دهد. این الگوریتم‌ها بر اساس ایده‌های متفاوتی تقسیم‌بندی می‌شوند. برخی از ملاک‌های دسته‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری عبارت هستند از:

الف) بر اساس نحوه جست‌وجو

- جست‌وجوی محلی^۱: این الگوریتم‌ها به دنبال بهبود تدریجی یک راه‌حل اولیه هستند. به‌عنوان مثال، الگوریتم تپه‌نوردی^۲ و شبیه‌سازی تبرید^۳ در این دسته قرار می‌گیرند.
- جست‌وجوی عمومی^۴: این الگوریتم‌ها، پاسخ را در دامنه‌ای گسترده‌تری جست‌وجو می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیک^۵ و بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۶ نمونه‌هایی از این دسته از الگوریتم‌ها هستند.

ب) بر اساس مبنای الگوریتم

- الگوریتم‌های تکاملی^۷: شامل الگوریتم‌های ژنتیک و الگوریتم‌های تکامل استراتژیک هستند.
- الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت^۸: که بر اساس رفتار در جمعیت شکل می‌گیرند. الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم‌های کلونی زنبور نمونه‌ای از این دسته هستند.

ج) بر اساس نوع بهینه‌سازی

- بهینه‌سازی پیوسته^۱: جست‌وجو و بهینه‌سازی در دامنه‌های پیوسته اتفاق می‌افتد. نمونه‌ای از این دسته، الگوریتم‌های ژنتیک هستند.

1. Local Search
2. Hill Climbing
3. Simulated Annealing
4. Global Search
5. Genetic Algorithms
6. Particle Swarm Optimization
7. Evolutionary Algorithms
8. Population-Based Algorithms

- بهینه‌سازی گسسته^۲: الگوریتم‌های این دسته، بهینه‌سازی را در مجموعه‌های گسسته و ساختاری انجام می‌دهند. الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید نمونه‌ای از این دسته هستند.

د) الهام از ریاضیات و آمار

- روش‌های جست‌وجوی تصادفی
- روش‌های تحلیل آماری

ه) بر اساس منبع الهام الگوریتم

- این دسته‌بندی قدیمی‌ترین روش تقسیم‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری است. بر اساس این دسته‌بندی، دسته‌های متفاوت الگوریتم‌های فراابتکاری عبارت‌اند از:
- الگوریتم‌های تکاملی (EAs): این روش‌ها از ایده‌های داروینی در مورد انتخاب طبیعی یا بقای شایسته‌ترین عنصر الهام گرفته شده‌اند. EAs با جمعیتی از نمونه‌ها شروع می‌شوند و از تولیدمثل و جهش برای ایجاد نسلی از فرزندان استفاده می‌کنند. در این دسته، الگوریتم‌های ژنتیک، برنامه‌نویسی ژنتیک^۳ و برنامه‌ریزی بیان ژن^۴ قرار می‌گیرند.
 - الگوریتم‌های مبتنی بر هوش جمعی^۵ (SI): بنی و وانگ^۶، اصطلاح «هوش جمعی» یا «هوش ازدحام» را در سال ۱۹۸۹ در زمینه سیستم‌های رباتیک سلولی اختراع کردند. از آن زمان SI به موضوعی داغ در بسیاری از صنایع تبدیل شده است. SI به عنوان رفتار جمعی سیستم غیرمتمرکز و خود سازمان‌یافته تعریف می‌شود. ویژگی‌های اولیه سیستم هوش جمعی، سازگاری، ارتباطات بالا و اشتراک دانش است. غالب موجودات زنده نمی‌توانند به تنهایی، از خود در برابر یک شکارچی بزرگ یا برای کسب غذا حمله کنند و به‌شدت به هوش جمعی متکی هستند. از جمله الگوریتم‌های مطرح در این دسته، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و بهینه‌سازی گرگ خاکستری هستند.

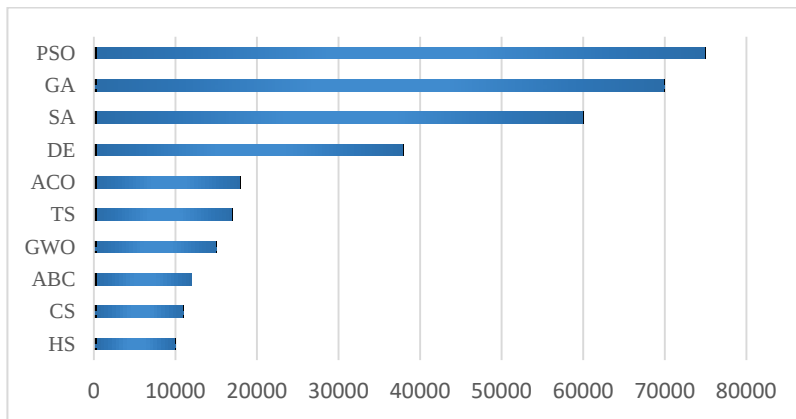
1. Continuous Optimization
2. Discrete Optimization
3. Genetic Programming
4. Gene Expression Programming
5. Swarm Intelligence Algorithm
6. Beni And Wang

- الگوریتم‌های مبتنی بر قوانین فیزیک^۱: گرانش، انفجار بزرگ، سیاه‌چاله و کهکشان، ایده این دسته از الگوریتم‌ها هستند. به‌عنوان مثال بلعیدن ستارگان توسط یک سیاه‌چاله و شکل‌گیری آغازهای جدید، انگیزه الگوریتم سیاه‌چاله^۲ است. جست‌وجوی هارمونی^۳ بر اساس بداهه‌نوازی نوازندگان توسعه‌یافته است. این دسته از الگوریتم‌ها خود به دو زیر دسته الگوریتم‌های مبتنی بر فیزیک (مانند simulated annealing و Harmony Search) و مبتنی بر شیمی (Artificial Reaction Algorithm و Gases Brownian Motion Optimization) تقسیم‌بندی می‌شوند.
 - متفرقه: الگوریتم‌های مبتنی بر ایده‌های متفرقه دیگر، مانند رفتارهای انسانی، استراتژی بازی و سیاست در این دسته قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال، ایجاد، حرکت و گسترش ابرها، منبع الهام الگوریتم بهینه‌سازی مدل ابرهای جوی^۴ (ACMO) و یا معاملات سهام در بازار سهام، مبنای الگوریتم بازار بورس^۵ (EMA) است. روش انفجار نارنجک^۶ (GEM)، بهینه‌سازی قلب^۷ (HO)، جست‌وجوی وسیله نقلیه عبوری^۸ (PVS)، بهینه‌سازی جهان کوچک^۹ (SWO)، بهینه‌سازی جفت ینگ-یانگ^{۱۰} (YYPO)، و الگوریتم سیل بزرگ^{۱۱} (GDA) نمونه‌های دیگری از این دسته از الگوریتم‌ها هستند.
- این تقسیم‌بندی‌ها به پژوهشگران و مهندسان کمک می‌کند تا بهتر بفهمند که کدام الگوریتم برای مسئله‌ای خاص مناسب‌تر است و چگونه می‌توانند از یک دسته خاص برای حل مسائل خود بهره ببرند.
- همان‌طور که بیان شد، بالغ بر ۵۰۰ الگوریتم فراابتکاری تا سال ۲۰۲۳ ارائه شده‌اند (Rajwar et al., 2023). در یک تقسیم‌بندی که در سال ۲۰۲۳ انجام شده است، الگوریتم‌های زیر به ترتیب بیشترین استفاده را در مقالات داشته‌اند (شکل ۱-۱):

-
1. Physical Law Based Algorithm
 2. Black Hole Algorithm
 3. Harmony Search
 4. Atmosphere Clouds Model Optimization
 5. Exchange Market Algorithm
 6. Grenade Explosion
 7. Heart Optimization
 8. Passing Vehicle Search
 9. Small World Optimization
 10. Ying-Yang Pair Optimization
 11. Great Deluge Algorithm

۸ از ژن‌ها تا منطق: راهنمای جامع الگوریتم ژنتیک و منطق فازی

۱. بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۱ (PSO)
۲. الگوریتم ژنتیک (GA)
۳. بازپخت شبیه‌سازی شده^۲ (SA)
۴. تکامل تفاضلی^۳ (DE)
۵. بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها^۴ (ACO)
۶. جست‌وجوی ممنوعه^۵ (TS)
۷. بهینه‌ساز گرگ خاکستری (GWO)
۸. کلونی زنبورهای عسل^۶ (ABC)
۹. جست‌وجوی فاخته^۷ (CS)
۱۰. جست‌وجوی هارمونی^۸ (HS)



شکل ۱-۱. تعداد ارجاعات در ۱۰ الگوریتم فراابتکاریِ پراستفاده (Rajwar et al., 2023)

از بین الگوریتم‌های فوق، در این کتاب در فصل‌های ۲ تا ۴، به سه موردِ الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات و گرگ خاکستری پرداخته شده است.

-
1. Particle Swarm Optimization
 2. Simulated Annealing
 3. Differential Evolution
 4. Ant Colony Optimization
 5. Tabu Search
 6. Artificial Bee Colony
 7. Cuckoo Search
 8. Harmony Search

خلاصه فصل اول

در این فصل، الگوریتم‌های فراابتکاری معرفی شدند. سپس، انواع الگوریتم‌های تقریبی بیان و تقسیم‌بندی شدند.

ملاک‌های مختلفی برای تقسیم‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری معرفی شد.

خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول

۱. بهینه‌سازی دقیق،
(الف) با افزایش ابعاد، زمان اجرا به صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند.
(ب) مناسب مسائل سخت است.
(ج) جواب نزدیک به بهینه را در زمان کوتاه کشف می‌نماید
(د) همیشه بهترین پاسخ را می‌دهند.
۲. بررسی رفتار جمعیت، کدام دسته از الگوریتم‌های فراابتکاری را پوشش می‌دهد؟
(الف) مبتنی بر هوش جمعی
(ب) الگوریتم‌های تکاملی
(ج) الگوریتم‌های مبتنی بر فیزیک
(د) الگوریتم دقیق
۳. کدام جزو ملاک‌های دسته‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری نیست؟
(الف) نوع بهینه‌سازی
(ب) مبنای الگوریتم
(ج) منبع الهام گرفته شده
(د) سرعت الگوریتم
۴. روش‌های جست‌وجوی تصادفی جزو کدام دسته از الگوریتم‌های فراابتکاری هستند؟
(الف) الهام از ریاضیات
(ب) الهام از فیزیک
(ج) الهام از طبیعت
(د) الهام از شیمی
۵. الگوریتم تپه‌نوردی جزو الگوریتم‌های است.
(الف) فوق ابتکاری
(ب) فراابتکاری
(ج) ابتکاری
(د) جست‌وجوی تصادفی