گروه مهندسی کامپیوتر

بهبود الگوریتم رقابت استعماری از طریق ادغام با الگوریتم تکاملی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر-هوش مصنوعی

استاد راهنما:
دکتر شهریار لطفی

استاد مشاور:
مهندس سعداله سبحانی

پژوهش‌گر:
فاطمه رمضانی

سال ۱۳۹۱

منت خدای را عز و جل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت. هر نفسی که فرو می‌رود، ممد حیات است و چون برمی‌آید مفرح ذات. پس در هر نفسی، دو نعمت موجود است و بر هر نعمتی شکری واجب.

از دست و زبان که برآیــد
کز عهده شکرش به درآید

نه زبان شکر او را دارم و و نه توان قدردانی از بندگانش را! اما بر حسب وظیفه سر تعظیم و ادب در مقابل استاد ارجمندم جناب آقای دکتر شهریار لطفی فرود می‌آورم و از ایشان به خاطر تمام راهنمایی‌ها و هدایت‌های مدبرانه‌شان در مراحل انجام پایان‌نامه تشکر و قدردانی می‌نمایم. در این‌جا لازم می‌دانم از جناب آقای مهندس اسماعیل آتش‌پز گرگری به خاطر راهنمایی‌ها و کمک‌های بی‌دریغ ایشان در زمینه جمع‌آوری و فراهم آوردن اطلاعات در صفحه شخصی ایشان تشکر نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های
ناشی از تحقیق موضـــوع این پایان‌نامـــــه
متعلق به موسسه آموزش عالی نبی اکرم (ص) تبریز است.

تقدیم به

خدایی که آفرید جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را و پدر و مادری که عشقشان را در وجودم دمید. آنانی که به خاطر زحمات بی‌دریغشان سبب درخشش نور امید و شایستگی در تمام مراحل زندگی‌ام شدند.

چیدم گلی ز باغ ادب تا به روز عید
در بارگاه میر ادب پرور آورم
حیف است با خسان گل دانش کنی نثار
من گل نثار مردم دانشور آورم

پیشگفتار

بهینه‌سازی شاخه‌ای از علوم ریاضیات است که در آن سعی می‌شود نقطه بهینه توابع را با توجه به تعدادی محدودیت به دست آورد. امروزه بسیاری از مسائل بهینه‌سازی اغلب از نوع مسائل غیر چند جمله‌ای-سخت هستند. از جمله راه‌حل‌های موجود در برخورد با این‌گونه مسائل، استفاده از الگوریتم‌های تقریبی یا مکاشفه‌ای است. این‌گونه الگوریتم‌ها تضمینی نمی‌دهند که جواب به دست آمده بهینه باشد و تنها با صرف زمان بسیار می‌توان جواب به نسبت دقیقی را به دست آورد و در حقیقت بسته به زمان صرف شده، دقت جواب تغییر می‌کند. دو عامل سرعت و دقت در تضاد با یکدیگر هستند. در سه دهه گذشته گونه جدیدی از الگوریتم‌های تقریبی به نام فرامکاشفه‌ای ایجاد شده است که سعی دارد روش‌های مکاشفه‌ای پایه را به منظور جست‌وجوی کارا و مؤثر فضای جست‌وجو در سطوح بالاتر ترکیب نمایند. انبوه کارهای صورت گرفته روز دنیا حاکی از رشد روزافزون کاربرد این‌گونه الگوریتم‌ها در مسائل بهینه‌سازی است. به همین دلیل الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای مختلفی در سال‌های اخیر ارائه شده‌اند. بسیاری از این ایده‌ها از ملاحظه و بررسی موجودات گوناگون طبیعت پیرامون الهام می‌گیرند. برای مثال حرکت جمعی و گروهی ماهیان یا پرندگان منجر به طرح الگوریتم گروه ذرات گردید. برخی دیگر مانند الگوریتم زنبور از زندگی اجتماعی زنبورها در کنار هم الهام می‌گیرند. در این پایان‌نامه نیز سعی شده است روشی کارا جهت حل مسائل دنیای واقعی ارائه شود تا بتوان از آن در زمینه علوم مختلف استفاده نمود؛ بنابراین با مطالعه روش‌های مختلف در این پایان‌نامه در الگوریتم‌های تکاملی و رقابت استعماری بهبودهایی به طور جداگانه اعمال شده‌اند که در نهایت منجر به ارائه الگوریتم‌های جدید شده‌اند. در ادامه از ترکیب این دو الگوریتم، الگوریتم ترکیبی جدیدی ارائه می‌شود. الگوریتم تکاملی غیر خویشاوندی با استفاده از بهبودهایی مانند استفاده از جنسیت، سن‌گذاری و در نظر گرفتن روابط غیر خویشاوندی نسخه بهبود یافته‌ای از الگوریتم تکاملی است. الگوریتم مبتنی بر اجتماع نیز با ترکیب دو الگوریتم تکاملی و رقابت استعماری به دست آمده است. در نهایت الگوریتم غیر خویشاوندی شامل تمامی بهبودهای ارائه شده از طریق تعریف مفاهیم جدید و ترکیبی است.

چکیده

از جمله الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای ارائه شده الگوریتم تکاملی می‌باشد که امروزه کاربرد زیادی در علوم مختلف دارد. الگوریتم تازه ظهور یافته رقابت استعماری نیز از یک پدیده اجتماعی-انسانی الهام گرفته است. در این پایان‌نامه بهبودهای مختلفی برای الگوریتم تکاملی و رقابت استعماری مانند استفاده از سن‌گذاری، جنسیت، در نظر گرفتن روابط غیر خویشاوندی، استفاده از ایده الگوریتم قورباغه و انواع کشورها ارائه شده‌اند؛ بنابراین الگوریتم غیر خویشاوندی تکاملی از بهبود الگوریتم تکاملی و الگوریتم مبتنی بر اجتماع با مدل‌سازی ریاضی ایده زندگی گروهی انسان‌ها در جوامع مختلف ارائه شده‌اند. در نهایت با ترکیب این دو الگوریتم غیر خویشاوندی ارائه شده است. برای نشان دادن توانایی الگوریتم‌های جدید، توابع محک مختلفی استفاده شده‌اند و نتایج حاصل به خوبی بیان‌گر کارآیی بالای الگوریتم‌های جدید است. هم‌چنین از آن‌ها در وزن‌دهی شبکه عصبی دو نمونه موردی مسأله WINE و رودخانه مارون استفاده شده است. در نزدیک به ۹۰ درصد از موارد الگوریتم‌های ارائه شده توانسته‌اند نتایج بهتری را نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد مقایسه ارائه کنند.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، غیر چند جمله‌ای-سخت، الگوریتم تکاملی، الگوریتم رقابت استعماری، الگوریتم تکاملی غیر خویشاوندی، الگوریتم مبتنی بر اجتماع و الگوریتم غیر خویشاوندی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱. فصل اول: مقدمه ۱

۲. فصل دوم: شرح مسأله ۵

۲-۱ بهینه‌سازی ۶

۲-۲ بهینه‌سازی ترکیبی ۸

۲-۳ هدف ۸

۲-۴ خلاصه فصل ۹

۳. فصل سوم: راه‌کارهای گذشته ۱۰

۳-۱ الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه ۱۱

۳-۲ الگوریتم تکاملی ۱۳

۳-۳ الگوریتم رقابت استعماری ۱۵

۳-۴ بهبودهای الگوریتم تکاملی ۱۶

۳-۴-۱ انتخاب جنسی ۱۷

۳-۴-۲ سن‌گذاری و جمعیت متغیر ۲۲

۳-۵ ترکیب رقابت استعماری با الگوریتم‌های دیگر ۲۴

۳-۶ خلاصه فصل ۲۵

۴. فصل چهارم: راه‌کار پیشنهادی ۲۶

۴-۱ الگوریتم تکاملی غیر خویشاوندی ۲۸

۴-۱-۱ نمایش فرد ۳۱

۴-۱-۲ عملگر ترکیب غیر خویشاوندی ۳۱

۴-۱-۳ عملگر تزریق ۳۲

۴-۱-۱ جمعیت با اندازه متغیر ۳۳

۴-۱-۲ طول عمر ۳۴

۴-۲ الگوریتم مبتنی بر اجتماع ۳۵

۴-۲-۱ شکل‌دهی اولیه کشورها ۳۹

۴-۲-۲ مقداردهی اولیه ۴۱

۴-۲-۳ انواع کشور ۴۳

۴-۲-۴ سیاست جذب (همگون‌سازی) ۴۳

۴-۲-۵ انقلاب داخلی و خارجی ۴۵

۴-۲-۶ جابه‌جایی موقعیت ۴۵

۴-۲-۷ قدرت کل ۴۶

۴-۲-۸ مهاجرت ۴۶

۴-۲-۹ سقوط کشورها ۴۷

۴-۲-۱۰ رقابت امپراتوری‌ها ۴۷

۴-۲-۱۱ سقوط امپراتوری ۴۹

۴-۳ الگوریتم غیر خویشاوندی ۴۹

۴-۴ خلاصه فصل ۵۰

۵. فصل پنجم: ارزیابی و نتایج عملی ۵۲

۵-۱ معرفی توابع محک ۵۳

۵-۲ تنظیم پارامترها ۵۷

۵-۳ قابلیت اطمینان و مقایسه ۶۲

۵-۴ پایداری ۶۷

۵-۵ هم‌گرایی ۶۷

۵-۶ آزمون‌های آماری ۷۱

۵-۶-۱ آزمون تک‌نمونه‌ای t ۷۱

۵-۶-۲ آزمون فریدمن ۷۵

۵-۶-۳ آزمون تحلیل انحراف ۷۶

۵-۷ مطالعه موردی ۷۷

۵-۷-۱ نمونه موردی WINE ۷۷

۵-۷-۲ نمونه موردی رودخانه مارون ۷۸

۵-۸ بحث ۸۱

۵-۹ خلاصه فصل ۸۲

۶. فصل ششم: نتیجه‌گیری و راه‌کارهای آتی ۸۳

۶-۱ نتیجه‌گیری ۸۴

۶-۲ راه‌کارهای آتی ۸۵

واژه‌نامه ۸۷

مراجع ۹۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱: تقسیم‌بندی mn قورباغه در m ممپلکس ۱۱
شکل ۳-۲: جداسازی نسل جاری به نرها و ماده‌ها ۲۰
شکل ۳-۳: برداشتن ماده بعدی و انتخاب نر بعدی بر اساس انتخاب مسابقه‌ای ۲۰
شکل ۳-۴: متغیر زبانی سن ۲۲
شکل ۳-۵: قوانین فازی تعریف شده ۲۳
شکل ۴-۱: جداسازی هر نسل به دو گروه نرها و ماده‌ها ۲۸
شکل ۴-۲: مراحل کار الگوریتم تکاملی غیر خویشاوندی ۲۹
شکل ۴-۳: الگوریتم تکاملی غیر خویشاوندی ۳۰
شکل ۴-۴: طرح کلی از بهبود الگوریتم تکاملی ۳۰
شکل ۴-۵: نحوه نمایش هر فرد ۳۱
شکل ۴-۶: انتخاب جنس نر ۳۱
شکل ۴-۷: نیاکان فرد انتخاب شده والدین فرد جاری هستند (الف) و نیاکان فرد جاری والدین فرد ۳۲
شکل ۴-۸: فرد انتخاب شده از نیاکان فرد جاری است (الف) و فرد جاری از نیاکان فرد انتخاب شده ۳۳
شکل ۴-۹: ترکیب غیر خویشاوندی دو نقطه‌ای ۳۳
شکل ۴-۱۰: عملگر تزریق برای جمعیت نرها ۳۳
شکل ۴-۱۱: رشد جمعیت آمریکا ۳۴
شکل ۴-۱۲: عدم توازن نرخ جمعیت مردها و زن‌ها در سال‌های ۱۹۰۰-۲۰۰۰ ..... ۳۴
شکل ۴-۱۳: الگوریتم مبتنی بر اجتماع ۳۷
شکل ۴-۱۴: طرح کلی عملگرهای فردی ۳۸
شکل ۴-۱۵: طرح کلی عملگرهای کشوری ۳۸
شکل ۴-۱۶: شمای کلی الگوریتم مبتنی بر اجتماع ۳۸
شکل ۴-۱۷: اجزای اجتماعی-سیاسی تشکیل دهنده یک کشور ۳۹
شکل ۴-۱۸: اجزای ژنتیکی تشکیل دهنده یک کروموزوم ۳۹
شکل ۴-۱۹: چگونگی شکل‌گیری امپراتوری‌ها و کشورهای اولیه ۴۱
شکل ۴-۲۰: حرکت کشور مستعمره به سمت استعمارگر (الف) و حرکت فرد به سمت رهبر (ب) ۴۵
شکل ۴-۲۱: انقلاب خارجی در امپراتوری (الف) و انقلاب داخلی در کشور (ب) ۴۵
شکل ۴-۲۲: مهاجرت ضعیف‌ترین فرد از ضعیف‌ترین کشور به کشورهای همسایه ۴۷
شکل ۴-۲۳: سقوط کشور شماره ۳ ..... ۴۷
شکل ۴-۲۴: شمای کلی رقابت: امپراتورهای بزرگ‌تر با احتمال بیشتری مستعمره‌ها امپراتورهای دیگر را ۴۸
شکل ۴-۲۵: سقوط امپراتوری ضعیف؛ امپراتوری شماره ۲ ..... ۴۹
شکل ۵-۱: ضرایب جذب داخلی و خارجی: تابع F23 با تعداد ابعاد ۱۰ (الف و ب) ۵۸
شکل ۵-۲: نمودار پارامترهای مختلف تابع F22: تعداد امپراتور (الف)، تعداد مستعمره (ب)، اندازه جمعیت ۶۰
شکل ۵-۳: نقاط تولید شده الگوریتم تکاملی در نسل ۱۰-ام (الف) و نسل ۱۰۰-ام (ب) ۶۵
شکل ۵-۴: نقاط تولید شده الگوریتم مبتنی بر اجتماع در نسل ۱۰-ام (الف) و نسل ۱۰۰-ام (ب) ۶۵
شکل ۵-۵: تعداد نرها-ماده‌ها برای تابع F30: الگوریتم غیر خویشاوندی (الف) و الگوریتم تکاملی ۶۶
شکل ۵-۶: نمودار پایداری الگوریتم‌های مبتنی بر اجتماع و غیر خویشاوندی تابع F22، ۱۰ بعدی ۶۷

شکل ۵-۷: نمودار هم‌گرایی تابع F30: ۱۰ بعدی (الف) و ۱۰۰۰ بعدی (ب) ۶۸
شکل ۵-۸: نمودار هم‌گرایی F30، ۵۰ بعدی: الگوریتم تکاملی (الف)، الگوریتم مبتنی بر اجتماع (ب) ۶۹
شکل ۵-۹: نمودار هم‌گرایی تابع F21، ۱۰ بعدی (الف) الگوریتم تکاملی غیر خویشاوندی و ۷۰
شکل ۵-۱۰: نمودار هم‌گرایی تابع F21، ۱۰ بعدی ۷۰
شکل ۵-۱۱: نتایج آزمون فریدمن برای توابع F21-F32 ..... ۷۶
شکل ۵-۱۲: نمودار هم‌گرایی مجموعه WINE ۷۸
شکل ۵-۱۳: نمودار هم‌گرایی الگوریتم‌های مبتنی بر اجتماع، اجتماع ذرات و ژنتیک ۸۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۵-۱: فهرست توابع محک مقیاس بزرگ (F1-F20) ۵۵
جدول ۵-۲: فهرست توابع محک متداول (F21-F33) ۵۶
جدول ۵-۳: مقایسه ضرایب جذب خارجی و داخلی مختلف توابع F21-F25 ..... ۵۹
جدول ۵-۴: مقایسه تعداد مختلف امپراتوری‌های و مستعمره‌ها ۶۱
جدول ۵-۵: مقایسه نرخ‌های انقلاب خارجی و داخلی مختلف ۶۱
جدول ۵-۶: مقادیر پارامترهای الگوریتم‌های اجتماع ذرات و زنبور عسل ۶۲
جدول ۵-۷: مقادیر پارامترهای الگوریتم‌های مقالات مقایسه شده ۶۲
جدول ۵-۸: مقایسه روش‌های جست‌وجوی مکاشفه‌ای متداول درتوابع با ابعاد کوچک ۶۳
جدول ۵-۹: نتایج مقایسه الگوریتم مبتنی بر اجتماع با الگوریتم‌های اجتماع ذرات و زنبور عسل در توابع با ابعاد بزرگ ۶۳
جدول ۵-۱۰: مقایسه الگوریتم‌های ارائه شده با الگوریتم‌های دیگر (F21-F23) ۶۴
جدول ۵-۱۱: مقایسه انواع کشورها ۶۴
جدول ۵-۱۲: مقایسه الگوریتم‌ها با تعداد ارزیابی‌های مختلف ۶۵
جدول ۵-۱۳: نتایج حاصل از توابع محک بهینه‌سازی مقیاس بزرگ برای تعداد ارزیابی ۱۲۰۰۰۰ ..... ۶۶
جدول ۵-۱۴: نتایج حاصل از توابع محک بهینه‌سازی مقیاس بزرگ برای تعداد ارزیابی ۶۰۰۰۰۰ ..... ۶۷
جدول ۵-۱۵: نتایج حاصل از توابع محک بهینه‌سازی مقیاس بزرگ برای تعداد ارزیابی ۳۰۰۰۰۰۰ ..... ۶۷
جدول ۵-۱۶: آزمون نرمال کولموگروف-اسمیرنوف برای توابع محک متداول (الگوریتم مبتنی بر اجتماع) ۷۳
جدول ۵-۱۷: آزمون نرمال کولموگروف-اسمیرنوف برای توابع محک مقیاس بزرگ (الگوریتم مبتنی بر اجتماع) ۷۴
جدول ۵-۱۸: آزمون تک‌نمونه‌ای t-test ۷۵
جدول ۵-۱۹: آزمون ANOVA برای تابع F21 ..... ۷۷
جدول ۵-۲۰: نتایج وزن‌دهی شبکه عصبی مجموعه WINE ۷۸
جدول ۵-۲۱: تعداد نمونه‌های مورد استفاده در سال‌های مختلف ۷۹
جدول ۵-۲۲: مقادیر پارامترهای مختلف الگوریتم‌های مورد استفاده ۸۰
جدول ۵-۲۳: نتایج حاصل از تعیین دبی رودخانه در ایستگاه پل فلور به وسیله الگوریتم‌های مختلف ۸۰

فصل اول

مقدمه

بهینه‌سازی[۱] یکی از موضوعات مهم در علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی، فیزیک، شیمی، پژوهش‌های اجرایی و دیگر حوزه‌های مرتبط می‌باشد. دانشمندان علوم مختلف تلاش دارند تا یک طرح بهینه برای یافتن نقاط بهینه مسائل مختلف ارائه دهند تا با داشتن شروطی مانند هزینه مالی و زمانی، سود را بیشینه کنند. به طور کلی بهینه‌سازی به معنای «به‌سازی[۲]» می‌باشد. هر چند، در این پایان‌نامه منظور از بهینه‌سازی فرآیند، یافتن جواب‌های ممکن بهتر برای مسأله بهینه‌سازی می‌باشد. منظور از مسأله بهینه‌سازی، مسأله‌ای است که جواب‌های ممکن متفاوتی برای آن وجود دارد و مفهوم درستی از کیفیت جواب برای آن‌ها وجود ندارد [1].

مسائل بهینه‌سازی بر اساس پیوسته یا گسسته بودن متغیرها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. یکی از شاخه‌های بهینه‌سازی که با متغیرهای گسسته سروکار دارد «بهینه‌سازی ترکیبی[۳]» است [2]. این مسائل به دنبال یافتن عنصری از مجموعه متناهی و یا نامتناهی شمارش‌پذیر هستند که می‌تواند عدد صحیح، جایگشت، زیرمجموعه و یا ساختار گراف باشد. بسیاری از این مسائل در دسته مسائل «غیر چند جمله‌ای-سخت[۴]» قرار دارند. این مسائل، مسائلی هستند که هیچ تضمینی وجود ندارد که بتوان در زمان قابل قبولی جواب بهینه را یافت. سال‌های زیادی است که محققان به دنبال کشف بهترین الگوریتم‌ها برای حل این مسائل هستند.

یافتن راه‌حل‌های ممکن مسائل با توجه به ماهیت مختلف ایشان نیازمند روش‌های مختلفی می‌باشد بنابراین الگوریتم‌های گوناگون و متنوعی در دهه‌های اخیر ارائه شده است. بیشتر روش‌های شناخته شده محاسبات تکاملی به پیاده‌سازی و شبیه‌سازی فرآیندهای زیستی و طبیعی محیط پیرامون می‌پردازند. با نگاهی دقیق و ریزبینانه به محیط اطراف می‌توان مصادیق بیشتری را یافت؛ بنابراین ترکیب دو ایده کاربردی دنیای بهینه‌سازی یعنی ایده تکامل ژنتیکی-زیستی که منجر به پیدایش «الگوریتم تکاملی[۵]» و ایده تکامل اجتماعی-سیاسی که منجر به پیدایش «الگوریتم رقابت استعماری[۶]» گردید زمینه ایجاد الگوریتمی جدید تحت عنوان «الگوریتم مبتنی بر اجتماع[۷]» را در این پایان‌نامه فراهم آورد.

بهبودهای مختلفی در مورد هر دو الگوریتم پایه تکاملی و رقابت استعماری به منظور پیاده‌سازی واقعی در دنیای پیرامون ارائه می‌شوند. از جمله بهبودهای صورت گرفته در زمینه الگوریتم رقابت استعماری

---

[۱] optimization
[۲] making better
[۳] Combinatorial Optimization (CO)
[۴] Non-Deterministic Polynomial-Time Hard (NP-Hard)
[۵] Evolutionary Algorithm (EA)
[۶] Imperialist Competitve Algorithm (ICA)
[۷] Social-Based Algorithm (SBA)

استفاده از مقداردهی‌های اولیه مختلف است. برای مثال ایده تقسیم اولیه قورباغه‌ها بین گروه‌های مختلف که در «الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه[۱]» مورد استفاده قرار گرفته است در این پایان‌نامه استفاده شده است. از ایده گونه‌های مختلف انتخاب رهبر مانند انتخاب ریاست جمهوری در کشورهای جمهوری در دنیای واقعی نیز استفاده شده است. در این پایان‌نامه سعی شده است به وسیله این ایده الگوریتم رقابت استعماری را بهبود بخشید.

در الگوریتم تکاملی نیز ایده جفت‌گیری[۲] ایده‌ای قدیمی می‌باشد. عمل جفت‌گیری دو جنسیتی می‌باشد. افراد مختلفی در زمینه جفت‌گزینی بر اساس جنسیت کار نموده‌اند. از طرف دیگر سن نیز عاملی مؤثری در تکامل می‌باشد؛ بنابراین برای هر یک از عامل‌ها جنسیت نر یا ماده و سن تخصیص داده می‌شود. جنسیت به صورت تصادفی با احتمال مساوی تعیین می‌گردد. در مورد سن‌گذاری نیز مقدار تابع هدف ارزیابی شده در سن عامل تأثیرگذار است.

در این پایان‌نامه علاوه بر استفاده از ایده‌های اشاره شده، ایده جفت‌گیری گزینشی نیز بر اساس روابط غیر خویشاوندی ارائه شده که در نهایت منجر به طراحی «الگوریتم تکاملی غیر خویشاوندی[۳]» گردیده است. این ایده از ازدواج در جوامع مذهبی الهام می‌گیرد که افراد، اجازه ازدواج با خویشاوندان خود مانند پدر، عمو، عمه و خاله را ندارند.

علاوه بر بهبودهای ارائه شده برای هر کدام از الگوریتم‌های تکاملی و رقابت استعماری، ایده اصلی مطرح شده ترکیب این دو می‌باشد. محققان مختلفی سعی در ترکیب این دو روش با هم نموده‌اند اما هیچ‌کدام به ایده زندگی اجتماعی انسان‌ها در دنیای واقعی نپرداخته‌اند و حتی به صورت جزئی هم به آن نگاه ننموده‌اند. با توجه به این‌که هر کدام از روش‌های تکاملی و رقابت استعماری جایگاه خاص خودشان را در حل مسائل بهینه‌سازی دارند، ترکیب این دو الگوریتم توانسته است به جواب «نزدیک به بهینه[۴]» دست یابد؛ زیرا روش ترکیبی با در نظر گرفتن تکامل فردی و اجتماعی-سیاسی افراد می‌باشد. هر دو الگوریتم مورد بررسی جایگاه مهم و پرکاربردی را بین روش‌های مختلف بهینه‌سازی موجود دارند؛ بنابراین روش ارائه شده جواب‌های بهتری را از لحاظ کیفیت و پایداری تولید می‌نماید که می‌تواند با سایر روش‌ها به رقابت بپردازد.

در نهایت «الگوریتم غیر خویشاوندی[۵]» حاصل به کارگیری تمامی ایده‌های مطرح شده می‌باشد. برای نشان دادن کارآیی الگوریتم‌های ارائه شده، توابع محک مختلفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هم‌چنین در حل مسائل دنیای واقعی روندیابی سیلاب در رودخانه از آن‌ها استفاده شده است که نتایج نشان دهنده کارآیی بالای آن‌ها می‌باشد.

---

۱ Shuffled Frog-Leaping (SFL)/Shuffled Complex Evolution

۲ mate choice

۳ Non-Relative Evolutionry Algorithm (NREA)

۴ near to optimal

۵ Non-Relative Algorithm (NRA)

در ادامه فصل دوم شرحی از مسأله مطرح شده، یعنی ارائه الگوریتم‌های بهینه‌سازی ترکیبی جدید، آورده خواهد شد. در فصل سوم به بررسی مفاهیم پایه‌ای مربوط به الگوریتم تکاملی و رقابت استعماری پرداخته خواهد شد. کارهای صورت گرفته به وسیله افراد مختلف از جمله ترکیباتی که در زمینه الگوریتم رقابت استعماری و تکاملی صورت گرفته‌اند در این فصل آورده خواهند شد. در ادامه این فصل کارهایی که در زمینه ترکیب دو الگوریتم صورت گرفته‌اند نیز آورده می‌شوند. سپس در فصل چهارم جزئیات و نحوه پیاده‌سازی بهبودهای ارائه شده برای این دو الگوریتم و الگوریتم‌های پیشنهادی تکاملی غیر خویشاوندی، مبتنی بر اجتماع و غیر خویشاوندی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در فصل پنجم نیز به بررسی و ارزیابی پایداری و هم‌گرایی الگوریتم‌های ارائه شده پرداخته خواهد شد و از توابع محک مختلف با مقیاس‌های متفاوت جهت مقایسه کارآیی الگوریتم‌های ارائه شده استفاده می‌شود. هم‌چنین دو نمونه واقعی جهت نشان دادن کارآیی الگوریتم‌ها همراه با آزمون‌های آماری مختلف مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در نهایت در فصل ششم، نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای ادامه کار در این زمینه مطرح خواهند شد.

فصل دوم

شرح مسأله

در این فصل شرحی از مسأله مطرح شده ارائه خواهد شد. در ابتدای فصل مروری بر مفهوم بهینه‌سازی خواهد شد. در ادامه به بررسی بهبودهایی که بر اساس پدیده‌های واقعی دنیای انسان‌ها در الگوریتم‌های رقابت استعماری و تکاملی ارائه شده‌اند، پرداخته خواهد شد. آنگاه با ترکیب دو ایده کاربردی دنیای بهینه‌سازی، یعنی ایده تکامل ژنتیکی-زیستی که منجر به پیدایش الگوریتم تکاملی گردید و ایده تکامل اجتماعی-سیاسی که منجر به پیدایش الگوریتم رقابت استعماری گردید، در کنار هم زمینه ایجاد الگوریتمی جدید تحت عنوان الگوریتم مبتنی بر اجتماع فراهم می‌شود.

۲-۱ بهینه‌سازی

در علوم کامپیوتر و ریاضیات مسأله بهینه‌سازی مسأله‌ای است که هدف یافتن بهترین جواب[۱] از مجموعه جواب‌های شدنی[۲] است. در دنیای واقعی مانند بازار بورس، تغییرات آب و هوا، صنعت سدسازی، صنعت خودروسازی و ده‌ها نمونه دیگر نیاز به بهینه‌سازی وجود دارد. بنابراین روش‌های گوناگونی برای حل مسائل بهینه‌سازی در شاخه‌های متنوع مطرح شده‌اند. اما مسأله‌ای که در حل مسائل بهینه‌سازی باید به آن توجه نمود این است که منابع گوناگونی برای حل مسائل مورد نیاز است. زمان (زمان مورد نیاز برای حل مسأله)، فضا (حافظه مورد نیاز) و تعداد پردازنده‌ها (در پردازش موازی) از جمله منابع مورد نیاز برای حل یک مسأله می‌باشند. بخشی از نظریه محاسباتی به بررسی منابع مورد نیاز برای حل مسأله می‌پردازد که «نظریه پیچیدگی[۳]» نام دارد. این نظریه شاخه‌ای از علوم کامپیوتر و ریاضی است که به بررسی دشواری حل مسائل به وسیله رایانه می‌پردازد.

بر اساس نظریه پیچیدگی، مسائل به کلاس‌های پیچیدگی تقسیم می‌شوند به طوری که مسائل یک کلاس از حیث زمان یا فضای مورد نیاز به هم شبیه هستند. مسائل چندجمله‌ای[۴]، کلاس مسائلی هستند که الگوریتم‌هایی سریع یعنی چندجمله‌ای برای پیدا کردن جواب آن‌ها وجود دارند و مسائل غیر چند جمله‌ای[۵]، کلاس مسائلی هستند که اگرچه ممکن است پیدا کردن جواب برای آن‌ها نیاز به زمان زیادی داشته باشد اما بررسی درستی جواب به وسیله یک الگوریتم سریع ممکن است. دو کلاس P و NP از مهم‌ترین کلاس‌ها هستند و بیشتر مسائل بهینه‌سازی در کلاس NP قرار می‌گیرند.

---

۱ solution

۲ feasible

۳ complexity theory

۴ Polynomial (P)

۵ Non-Deterministic Polynomial (NP)

با توجه به منابع مورد نیاز برای حل مسائل بهینه‌سازی و کلاس‌های گوناگون مسائل، نکته‌ای که در اینجا باید به آن اشاره کرد این است که استفاده از روش‌های اولیه بهینه‌سازی شامل برنامه‌ریزی خطی[۱]، برنامه‌ریزی عدد صحیح[۲]، برنامه‌ریزی پویا و برنامه‌ریزی غیرخطی[۳] با مشکلاتی همراه بود و با توجه به این‌که بیشتر مسائل در کلاس NP قرار دارند، مهم‌ترین مشکل وقت‌گیر بودن حل مسائل بزرگ با آن‌ها بود. حتی با فناوری‌های محاسباتی پیشرفته امروزی حل یک مسأله با ابعاد وسیع با روش‌های ذکر شده به چندین سال زمان نیاز دارد. بروز این مشکل به توهماتی که در ابتدای شکل‌گیری دانش تحقیق در عملیات، مبنی بر حل بهینه تمام مسائل دنیا با استفاده از این دانش ایجاد شده بود پایان داد و سبب شد محققان مجبور به تعدیل انتظارات خود از این دانش جدید در یافتن بهترین جواب ممکن شوند و به جواب‌هایی به اندازه کافی خوب که حتی در مورد مسائل با ابعاد بزرگ نیز در مدت زمان منطقی می‌توان به آن‌ها رسید، اکتفا کنند.

تعریف عمومی بهینه‌سازی به صورت رابطه (۲-۱) می‌باشد:

$$\begin{aligned} &\underset{x\in\Re^n}{minimize}\ f_i(x), (i = 1, 2, \dots, M), \\ &s.t.\ h_j(x) = 0, (j = 1, 2, \dots, J) \\ &\quad g_k(x) \le 0, (k = 1, 2, \dots, K) \end{aligned} \qquad (۲-۱)$$

که در آن $f_i(x)$، $h_j(x)$ و $g_k(x)$ توابعی برداری می‌باشند. هر عنصر x_i از x متغیرهای تصمیم‌گیری[۴] نامیده می‌شوند که می‌توانند پیوسته حقیقی، گسسته و یا ترکیبی از این دو باشند. چند نکته در مورد این تعریف وجود دارد که به شرح زیر می‌باشد:

- توابع $f_i(x)$ که در آن $i = 1, 2, \dots, M$ می‌باشد تابع هدف[۵] و یا تابع هزینه[۶] نام دارند.
- در صورتی که $M = 1$ باشد تنها یک تابع هدف وجود دارد.
- فضای تقسیم‌بندی شده به وسیله متغیرهای تصمیم‌گیری، فضای جست‌وجوی $\Re^n$ نام دارد.
- فضای شکل گرفته به وسیله مقادیر تابع هدف، فضای جواب[۷] یا فضای پاسخ[۸] نام دارد.
- معادلات h_j و نامعادلات g_k محدودیت‌های[۹] مسأله نام دارند.

باید توجه کرد که می‌توان تمام نامعادلات را به صورت ≤ 0 بازنویسی نمود. هم‌چنین می‌توان تابع هدف مسأله را به صورت مسأله بیشینه‌سازی بازنویسی نمود.

---

۱ Linear Programming (LP)
۲ Integer Programming (IP)
۳ Non-Linear Programming (NLP)
۴ decision variables
۵ objective function
۶ cost function
۷ solution space
۸ response space
۹ constraint

۲-۲ بهینه‌سازی ترکیبی

یکی از شاخه‌های بهینه‌سازی، بهینه‌سازی ترکیبی است. این مسائل به دنبال یافتن عنصری از مجموعه متناهی و یا نامتناهی شمارش پذیر هستند که می‌تواند عدد صحیح، جایگشت، زیرمجموعه و یا ساختار گراف باشد. مسأله بهینه‌سازی ترکیبی به صورت زوج $P = (S, f)$ نمایش داده می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود [2]:

- مجموعه‌ای از متغیرهای $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$،
- دامنه‌های متغیر D_1، D_2، ... و D_n،
- محدودیت‌های موجود بین متغیرها،
- تابع هدف $f: D_1 \times \ldots \times D_n \rightarrow R^+$

S مجموعه تمامی انتساب‌های شدنی ممکن است که فضای جواب یا جست‌وجو نام دارد و هر عنصر آن می‌تواند به عنوان نامزد جواب در نظر گرفته شود. تعریف ریاضیاتی آن به صورت رابطه (۲-۲) است.

$$S = \{s = \{(x_1), v_1, \ldots, (x_n), v_n\} \mid v_i \in D_i,\ s\ satisfies\ all\ the\ constraints\} \qquad (۲-۲)$$

برای حل مسأله بهینه‌سازی ترکیبی باید جواب $\hat{s} \in S$ را یافت که برای آن رابطه (۲-۳) وجود دارد.

$$\forall s \in S: f(\hat{s}) \leq f(s) \qquad (۲-۳)$$

$\hat{s}$ را جواب بهینه سراسری (S, f) می‌نامند.

۲-۳ هدف

همان‌گونه که اشاره شد روش‌های فرامکاشفه‌ای در حل بسیاری از مسائل بهینه‌سازی در حوزه‌های مختلفی چون تعیین مسیر بهینه عامل‌های خودکار، طراحی بهینه کنترل‌کننده برای پروسه‌های صنعتی و نیز در طراحی عامل‌های هوشمند استفاده شده‌اند. سرعت این روش‌ها بالا می‌باشد اما جواب نزدیک به بهینه را تولید می‌کنند. این روش‌ها به دو دسته اصلی جست‌وجوی محلی[۱] و جست‌وجوی مبتنی بر جمعیت[۲] تقسیم می‌شوند. از جمله این روش‌ها می‌توان الگوریتم‌های تکاملی و رقابت استعماری را نام برد.

در سال ۱۸۵۹ داروین در کتاب خود اصول انتخاب طبیعی و بقای اصلح را به عنوان اصول موجود در تکامل زیست‌شناسی معرفی کرد [3]. الگوریتم‌های تکاملی چکیده‌ای از این فرآیند زیست‌شناسی هستند. اغلب محققان علوم مختلف از الگوریتم‌های تکاملی در حل مسائل بهینه‌سازی مرتبط با رشته خود استفاده می‌کنند. مزیت این دسته از الگوریتم‌ها ویژگی جعبه سیاه آن‌ها می‌باشد که فرضیات اندکی را راجع به توابع

---

[۱] local search

[۲] population-based search