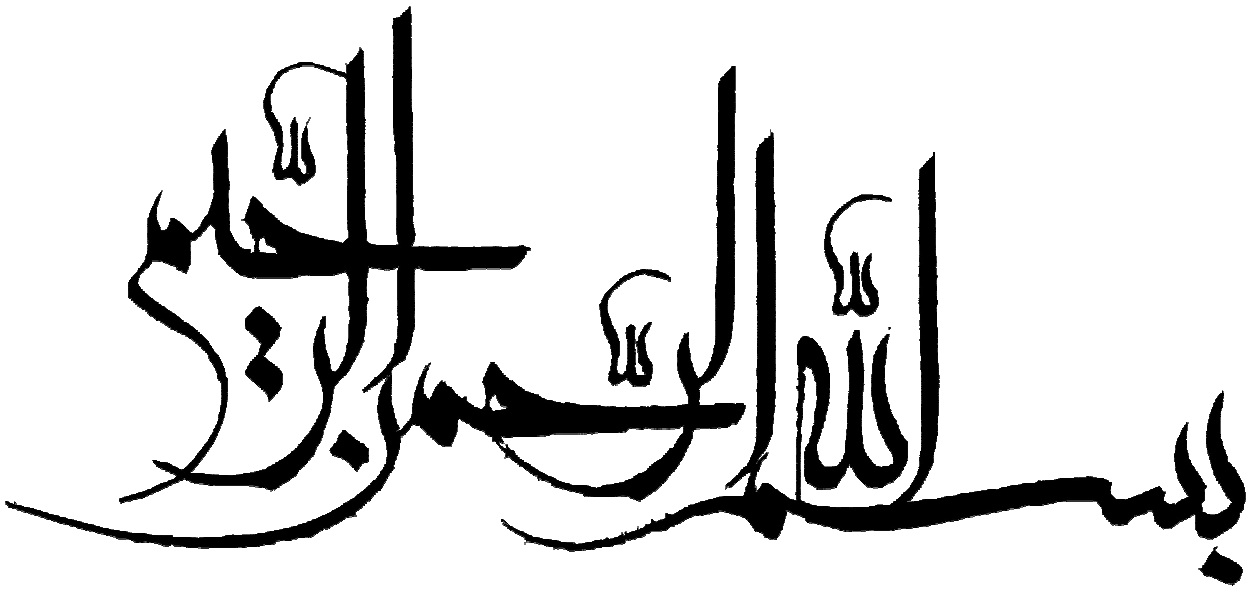

دانشگاه اصفهان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار

توسعه و بهبود شبکه‌های ایمنی مصنوعی همیار برای حل مسائل بهینه سازی چند وجهی

استاد راهنما:

دکتر کامران زمانی‌فر

پژوهشگر:

احسان بی‌ریا

بهمن ماه ۱۳۸۹

کلیه حقوق مادی مترتب بـر نتـایج مطالعـات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه اصفهان است.

دانشگاه اصفهان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی‌کامپیوتر گرایش نرم‌افزار آقای احسان بی‌ریا

تحت عنوان

توسعه و بهبود شبکه‌های ایمنی مصنوعی همیار برای حل مسائل بهینه سازی چند وجهی

در تاریخ ۸۹/۱۲/۱۵ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه آقای دکتر کامران زمانی فر با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۲- استاد داور داخل گروه آقای دکتر احمد براآنی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۳- استاد داور خارج از گروه آقای دکتر عبدالرضا میرزائی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

امضای مدیر گروه

سپاسگذاری

حمد و سپاس خداوند متعال را که همیشه یاریم کرده و بدون الطاف بی کرانش به انجام رسیدن این کار ممکن نبود. از تلاش و صبوری استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر کامران زمانی فر و همکاری گروه مهندسی کامپیوتر دانشکده فنی مهندسی دانشگاه اصفهان، کمال تشکر را دارم.

از همسر مهربانم که صبورانه پشتیبان و یاری من در راه تحصیل است و همیشه سختی‌های این راه را تحمل نموده، سپاسگذارم.

تقدیم به:

پدر، مادر

و همسرم

چکیده

توابع چند وجهی، توابعی هستند که در فضای مسئله خود دارای یک یا چند نقطه بهینه سراسری و چند نقطه بهینه محلی می‌باشند. هدف از بهینه‌سازی چند وجهی، پیدا کردن تمامی بهینه‌های سراسری و حداکثر تعداد نقاط بهینه محلی می‌باشد. در میان روش‌های مطرح شده برای بهینه سازی چند وجهی، شبکه‌های ایمنی مصنوعی با الهام‌گیری از سیستم ایمنی طبیعی بدن، توانسته‌اند توانایی مناسبی را برای بهینه‌سازی چند وجهی از خود نشان دهند. الگوریتم opt-aiNet یکی از مشهورترین شبکه‌های ایمنی برای بهینه‌سازی مسائل چندوجهی است که با معرفی ویژگی‌های جدید توانسته است نسبت به الگوریتم‌های قبل از آن، منجر به نتایج قابل قبولی شود.

اصلی ترین عیب این الگوریتم، محدود شدن تعامل بین سلولی درون شبکه به عمل بازدارندگی است. این موضوع مخالف نظریه شبکه ایمنی است که تعامل را شامل بازدارندگی و همیاری می‌داند. در الگوریتم‌های بعدی که سعی در ایجاد نوعی همیاری بین سلول‌ها دارند، مثل CoAIN و HaiNet، سلول‌ها علاقمند به حرکت به سمت نقاط بهینه سراسری می‌باشند و به همین دلیل بسیاری از بهینه‌های محلی از دست می‌روند.

عیب دیگر در opt-aiNet، اکتشاف فضای مسئله به صورت کورکورانه و بدون توجه به تجارب تکرارهای قبلی است که موجب ایجاد و جهش سلول‌هایی می‌گردد که جواب‌های متمایزی را به دست نخواهند داد.

در این پژوهش، راهکار جدیدی برای تعامل درون شبکه ایمنی مصنوعی پیشنهاد شده است که به جای نزدیک کردن سلول‌ها به نقاط بهینه پیدا شده قبلی، سعی در دور کردن آن‌ها به کمک عملگری موسوم به عملگر دفع دارد. به همین دلیل این تعامل به نام همیاری معکوس نامگذاری شده است. همچنین مکانیزم پویایی در الگوریتم گنجانده شده است که با بهره‌گیری از تجارب حرکات قبلی یک سلول، موجب شتاب گرفتن حرکت به سمت یک نقطه بهینه می‌شود. چنانچه شتاب جهش سلول منجر به عبور کردن آن از نقطه بهینه مورد نظر شود، پویایی مکانیزم موجب می‌شود که سلول سریعاً به سمت نقطه بهینه برگردد. الگوریتم پیشنهادی روشی را نیز برای تولید سلول‌های جدید به کار می‌برد که موجب می‌شود سلول‌های جدید به احتمال زیاد در فضایی دورتر از مکان بهینه‌های پیدا شده در تکرارهای قبل، قرارگیرند تا به این صورت اکتشاف به صورت کاراتر و هدفمند انجام شود.

جمع بندی نهایی، موفقیت چشمگیر الگوریتم پیشنهادی را نسبت به الگوریتم opt-aiNet، هم در تعداد بهینه‌های پیدا شده و هم تعداد تکرار همگرایی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی چند وجهی، شبکه ایمنی مصنوعی، همیاری معکوس

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول معرفی

۱-۱ تعریف مسئله ۲

۱-۲ سابقه‌ی تحقیق ۲

۱-۳ محدوده‌ی تحقیق ۴

۱-۳-۱ اهداف تحقیق ۵

۱-۳-۲ اهمیت و ارزش تحقیق و کاربرد نتایج تحقیق ۵

۱-۴ ساختار پایان نامه ۶

فصل دوم مبانی ایمنی‌شناسی

۲-۱ اجزای سیستم ایمنی طبیعی ۸

۲-۱-۱ اندام‌ها ۸

۲-۱-۲ سلول‌ها و مولکول‌های ایمنی ۹

۲-۱-۳ سیستم مکمل ۱۳

۲-۲ لایه‌های سیستم ایمنی ۱۳

۲-۲-۱ حصار کالبد ۱۴

۲-۲-۲ ایمنی ذاتی ۱۴

۲-۲-۳ ایمنی تطبیقی ۱۴

۲-۳ پویایی در سیستم ایمنی ۱۵

۲-۳-۱ تشخیص ایمنی: تطابق و اتصال ۱۵

۲-۳-۲ واکنش به پادگن‌ها ۱۷

۲-۳-۳ بلوغ سلول T ۱۹

۲-۳-۴ تکثیر سلول‌های B برای افزایش پیوستگی ۲۰

۲-۴ مکانیزم سیستم ایمنی ۲۲

۲-۴-۱ مکانیزم گردشی ۲۲

۲-۴-۲ مکانیزم‌های تنظیمی ۲۳

۲-۴-۳ مکانیزم سیگنال دهی و ارسال پیام ۲۴

۲-۵ نظریه‌های پردازش ایمنی ۲۵

۲-۵-۱ نظریه انتخاب کلونی ۲۶

۲-۵-۲ نظریه شبکه ایمنی ۲۷

۲-۵-۳ نظریه خطر ۲۸

عنوان **صفحه**

۲-۶ جنبه‌های محاسباتی سیستم ایمنی طبیعی ۳۰

فصل سوم مدل‌های محاسباتی و الگوریتم‌های مبتنی بر ایمنی

۳-۱ فضای نمایش و پیوستگی ۳۳

۳-۱-۱ الگوهای نمایش ۳۵

۳-۲ معیار اندازه‌گیری پیوستگی ۳۵

۳-۳ قواعد تطابق ۳۷

۳-۳-۱ قواعد تطابق رشته ها ۳۸

۳-۳-۲ قواعد تطابق بردار حقیقی ۳۹

۳-۳-۳ ملاحظاتی درباره روش نمایش ۴۰

۳-۴ بلوغ پیوستگی ۴۱

۳-۵ حل مسائل با مدل‌های مبتنی بر ایمنی ۴۱

۳-۶ الگوریتم‌های ایمنی مصنوعی ۴۲

فصل چهارم کارهای انجام‌شده در بهینه‌سازی چند وجهی

۴-۱ بهینه‌سازی چند وجهی ۴۳

۴-۲ بهینه‌سازی چندوجهی با روش‌های الهام گرفته شده زیستی ۴۶

۴-۲-۱ الگوریتم ژنتیک ۴۶

۴-۲-۲ الگوریتم بهینه‌سازی گروه پرندگان ۴۷

۴-۲-۳ سیستم‌های ایمنی مصنوعی ۴۸

۴-۳ الگوریتم انتخاب کلونی ۴۹

۴-۴ الگوریتم opt-aiNet ۵۴

۴-۵ الگوریتم HaiNet ۶۱

۴-۶ الگوریتم CoAIN ۶۳

۴-۷ الگوریتم VAIS ۶۵

۴-۸ الگوریتم PiNet ۶۶

فصل پنجم الگوریتم ایمنی پیشنهادی برای بهینه‌سازی توابع چند وجهی

۵-۱ انگیزه ارائه الگوریتم پیشنهادی ۷۰

۵-۱-۱ اکتشاف بهتر فضای مسئله ۷۰

۵-۱-۲ افزایش سرعت همگرایی ۷۱

۵-۱-۳ نگهداری نقاط بهینه محلی ۷۱

۵-۱-۴ استحکام در تعداد جواب‌های پیدا شده و سرعت همگرایی ۷۱

عنوان **صفحه**

۵-۱-۵ پویایی و انعطاف پذیری در برابر توابع مختلف ۷۲
۵-۲ ویژگی‌ها و ساختار کلی الگوریتم پیشنهادی ۷۲
۵-۲-۱ تغییر در شیوه انجام جهش ۷۳
۵-۲-۲ تغییردر شیوه تولید سلول‌های جدید ۷۵
۵-۲-۳ مرحله جدید همیاری معکوس ۷۶
۵-۲-۴ ساختار کلی مراحل الگوریتم ۷۸
۵-۳ تعاریف پایه جدید در الگوریتم ارائه شده ۸۰
۵-۴ مدل ریاضی مراحل الگوریتم ۸۱
۵-۴-۱ مرحله آغاز به کار ۸۱
۵-۴-۲ مرحله همیاری معکوس ۸۱
۵-۴-۳ مرحله گسترش کلونی ۸۳
۵-۴-۴ مرحله بلوغ پیوستگی ۸۳
۵-۴-۵ مرحله انتخاب نخبگان ۸۵
۵-۴-۶ مرحله بازدارندگی ۸۶
۵-۴-۷ مرحله ایجاد تنوع ۸۷

فصل ششم پیاده‌سازی و ارزیابی الگوریتم

۶-۱ پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی ۸۹
۶-۲ تحلیل پیچیدگی الگوریتم ۹۰
۶-۲-۱ پیچیدگی زمانی الگوریتم ۹۰
۶-۲-۲ پیچیدگی فضایی الگوریتم ۹۱
۶-۳ توابع چند وجهی محک ۹۲
۶-۴ نحوه ارزیابی نتایج اجرای الگوریتم ۹۷
۶-۴-۱ پارامترهای تنظیمی الگوریتم‌ها ۹۸
۶-۴-۲ مقایسه نتایج با سایر الگوریتم‌ها ۹۹
۶-۴-۳ ارزیابی اثربخشی تکنیکهای به‌کار رفته در الگوریتم پیشنهادی ۱۰۶

فصل هفتم جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و راهکارهای آتی

۷-۱ خلاصه ۱۱۰
۷-۲ بررسی دستیابی به اهداف تحقیق ۱۱۲
۷-۳ زوایای پوشش داده نشده و فرصت‌های آتی ۱۱۳
مراجع و مؤاخذ ۱۱۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ گیرنده‌های سلول B (پادتن‌های روی سلول B) برای اتصال به پادگن‌ها ۱۰
شکل ۲-۲ اجزای مولکول پادتن ۱۱
شکل ۲-۳ شناسایی پادگن توسط سلول‌های B ۱۶
شکل ۲-۴ تشخیص توسط سلول T از طریق مولکول‌های MHC سطح سلول ۱۹
شکل ۲-۵ نمایش مفاهیم پایه در اصل گسترش کلونی ۲۱
شکل ۲-۶ تکثیر کلونی و انتخاب سلول‌های B در مواجهه با یک پادگن ۲۷
شکل ۲-۷ تشخیص پادتن‌ها توسط یکدیگر ۲۸
شکل ۲-۸ واکنش در برابر سیگنال خطر ۳۰
شکل ۳-۱ اتصال پادتن به پادگن ۳۴
شکل ۳-۲ پادتن‌ها و پادگن‌ها در یک فضای نمایش اقلیدسی ۳۴
شکل ۳-۳ یک یابنده به شکل ابرکره در فضای N بُعدی با مرکزیت c و شعاع ε ۳۶
شکل ۳-۴ حل مسئله با مدل‌های مبتنی بر ایمنی ۴۲
شکل ۴-۱ تابع Multi در بازه‌ی $x_1, x_2 \in [-2,2]$ ۴۴
شکل ۴-۲ نمودار بلوکی مراحل اجرای الگوریتم CLONALG ۵۰
شکل ۴-۳ تابع وابستگی جهش به شایستگی سلول ۵۸
شکل ۴-۴ نمودار بلوکی الگوریتم HaiNet ۶۲
شکل ۵-۱ نمودار بلوکی مراحل اجرای الگوریتم ارائه شده ۸۸
شکل ۶-۱ نمای سه بعدی تابع Multi (F_1) ۹۲
شکل ۶-۲ نمای سه بعدی تابع Schaffer (F_2) ۹۳
شکل ۶-۳ نمای سه بعدی تابع Roots (F_3) ۹۳
شکل ۶-۴ نمای سه بعدی تابع Sinc (F_4) ۹۴
شکل ۶-۵ نمای سه بعدی تابع Alex (F_5) ۹۴

عنوان	صفحه

شکل ۶-۶ نمای سه بعدی تابع Rastrigin1 (F_6) ۹۵

شکل ۶-۷ نمای سه بعدی تابع Shubert (F_7) ۹۵

شکل ۶-۸ نمای سه بعدی تابع Camel (F_8) ۹۶

شکل ۶-۹ نمای سه بعدی تابع Rastrigin2 (F_9) ۹۶

شکل ۶-۱۰ قله‌های پیدا شده در تابع Multi ۱۰۱

شکل ۶-۱۱ نمودار جعبه‌ای مقایسه نواسانات تعداد قله یافته شده توسط الگوریتم ها ۱۰۲

شکل ۶-۱۲ نمودار جعبه‌ای مقایسه نواسانات تعداد تکرار همگرایی الگوریتم ها ۱۰۳

شکل ۶-۱۳ نمودار جعبه‌ای مقایسه نواسانات تعداد تکرار اکتشاف سراسری در سه الگوریتم ۱۰۴

شکل ۶-۱۴ مقایسه تغییرات حداکثر و میانگین شایستگی جمعیت برای اجرای سه الگوریتم ۱۰۵

شکل ۶-۱۵ نمودار جعبه‌ای مقایسه نواسانات اندازه فضای جستجو در سه الگوریتم ۱۰۵

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ مکانیزم‌های دفاعی زیستی ویژه و غیرویژه ۱۳

جدول ۳-۱ مدل‌های محاسباتی مبتنی بر ایمنی و مفاهیم ایمنی شناسی مرتبط با آن ها ۳۳

جدول ۳-۲ اصطلاحات معادل در مدل‌های ایمنی و یادگیری ماشینی ۳۳

جدول ۴-۱ مقایسه اصطلاحات به کار رفته در الگوریتم انتخاب کلونی با الگوریتم تکاملی ۵۱

جدول ۶-۱ مقادیر پارامترها برای آزمایش سه الگوریتم ۹۸

جدول ۶-۳ نتایج بهینه‌سازی توابع محک توسط سه الگوریتم ۹۹

جدول ۶-۴ مقایسه میزان بهبود عملکرد الگوریتم پیشنهادی ۱۰۶

جدول ۶-۵ نتیجه پیاده‌سازی عملگر جدید دفع در الگوریتم‌های opt-aiNet و PiNet ۱۰۷

جدول ۶-۶ نتیجه پیاده‌سازی فرآیند ایجاد تنوع پیشنهادی در الگوریتم‌های opt-aiNet و PiNet ۱۰۷

جدول ۶-۷ نتیجه پیاده‌سازی همزمان عملگر دفع و ایجاد تنوع پیشنهادی در الگوریتم‌های opt-aiNet و PiNet ۱۰۸

جدول ۶-۸ نتیجه پیاده‌سازی فرآیند جهش پیشنهادی در الگوریتم‌های opt-aiNet و PiNet ۱۰۸

جدول ۶-۹ نتایج حاصل از تغییر شدت دفع در کارایی الگوریتم پیشنهادی ۱۰۹

فصل اول

معرفی

سیستم‌های ایمنی مصنوعی[1] (AIS) شاخه‌ای نسبتاً جدید در مباحث هوش محاسباتی[2] (CI) هستند که قابلیت‌های چشم‌گیر سیستم‌های ایمنی طبیعی در مقابله با عوامل بیماری‌زا را برای اهداف محاسباتی، الگوبرداری می‌کنند و همچنان نیز اشتیاق رو به رشدی برای توسعه مدل‌های محاسباتی الگوبرداری شده از اصول ایمنی‌شناسی وجود دارد. برخی از این مدل‌های محاسباتی سعی در تقلید از مکانیزم‌های ایمنی دارند تا بتوانند رفتارهای پویای سیستم‌های ایمنی زیستی را مدل کرده و درک بهتری از شیوه عملکرد آن‌ها را برای محققان ایجاد کنند. ولی هدف بیشتر الگوریتم‌های AIS، بهره‌گیری از اصول و پردازش‌های ایمنی ساده‌شده به منظور انجام عملیات محاسباتی می‌باشد. سیستم‌های ایمنی مصنوعی نیز مشابه شبکه‌های عصبی مصنوعی[3] و الگوریتم‌های تکاملی[4] سعی در استخراج ویژگی‌های انتزاعی از سیستم‌های زیستی دارند که بتوانند یک ابزار محاسباتی برای حل مسائل علمی و مهندسی به کار گرفته شوند. سیستم‌های ایمنی مصنوعی با وجود نو پا بودن توانسته‌اند این ادعا را تقویت کنند که رهیافتی مؤثر و بسیار مفید در زمینه‌های کاربردی متنوع هستند [۱].

---

[1] Artificial Immune Systems
[2] Computational Intelligence
[3] Artificial Neural Networks
[4] Evolutionary Algorithms

۱-۱ تعریف مسئله

در دو دهه اخیر محاسبات الگوبرداری شده زیستی و کاربردهای آن‌ها به شدت افزایش پیدا کرده‌اند و سیستم‌های ایمنی مصنوعی نیز از این قاعده مستثنی نیستند. به همین دلیل توسعه مدل ریاضی این الگوریتم‌ها و کاربردهایشان در مسائل مختلف، بسیار ارزشمند است. یکی از کاربردهای مهم سیستم‌های ایمنی مصنوعی، حل مسائل مختلف بهینه‌سازی می‌باشد. به همین دلیل در این پایان نامه سعی بر این است که با ارائه الگوریتم کامل‌تری مبتنی بر علم ایمنی‌شناسی، علاوه بر مطرح کردن راه‌حلی مؤثر برای حل مسائل بهینه‌سازی، تلاشی در جهت توسعه مدل‌های مبتنی بر ایمنی نیز انجام پذیرد.

بسیاری از مسائل بهینه‌سازی، یک هدف[1] بهینه دارند، ولی مسائل بهینه‌سازی چند وجهی[2] به مسائلی گفته می‌شود که معمولاً علاوه بر یک یا چند نقطه بهینه سراسری[3]، شامل چندین نقطه بهینه محلی[4] در فضای مسئله خود می‌باشند. حجم زیادی از مسائل مختلف دنیای واقعی، در حقیقت مسائل بهینه‌سازی چندوجهی هستند. یعنی یک تابع هدف ممکن است دارای چند نقطه بهینه و یا چند نقطه نیمه بهینه (معمولاً دارای مقادیر نزدیک به بهینه) باشد. این نقاط نیمه بهینه (بهینه محلی) معمولاً ناخواسته نیستند، چون آن‌ها نیز شایستگی بالایی برای مسئله دارند. پس می‌توان وجود هر یک از این بهینه‌های محلی را نسبت به شرایط بخشی از فضای مسئله که در آن قرار گرفته است، لازم و قابل توجه دانست. به همین دلیل هدف اصلی در بهینه‌سازی توابع چند وجهی، جستجو برای نقطه بهینه سراسری و یافتن همزمان چند نقطه بهینه محلی می‌باشد.

۱-۲ سابقه‌ی تحقیق

به طور کلی دو نوع روش برای حل مسائل بهینه‌سازی چند وجهی مطرح شده‌اند. یکی روش‌های قطعی که با تکیه بر روش‌های محاسباتی کلاسیک سعی در حل بهینه‌سازی این مسائل دارند. مسائل بهینه‌سازی برای این روش‌ها، در دسته مسائل سخت (NP-hard) جای می‌گیرند و به همین دلیل نه مؤثر هستند و نه کارا. دسته دوم الگوریتم‌های تصادفی می‌باشند که الگوریتم‌های الگوبرداری‌شده زیستی در این دسته جای می‌گیرند. محاسبات برگرفته شده از طبیعت رهیافتی کارا و قابل اعتماد را برای حل مسائل پیچیده دنیای واقعی تأمین می‌کنند.

---

[1] Goal
[2] Multimodal optimization
[3] Global optima
[4] Local optima

برخی از این روش‌ها برای حل مسائل بهینه‌سازی چند وجهی به کار گرفته شده‌اند. روش‌های مذکور جمعیتی از راه‌حل‌های احتمالی را نگهداری می‌کنند که در هر تکرار مورد پردازش قرار می‌گیرند تا به جواب بهتری برسند. اگر چند جواب بتوانند پس از چندین مرحله اجرا در جمعیت حفظ شوند، در پایان اجرای الگوریتم به جای یافتن فقط یک جواب، چندین راه حل مناسب بدست خواهد آمد. الگوریتم‌های ژنتیک، بهینه‌سازی گروه پرندگان[1] (PSO) و سیستم‌های ایمنی مصنوعی از مهمترین روش‌های به‌کار گرفته شده برای بهینه‌سازی چند وجهی می‌باشند.

الگوریتم ژنتیک، یکی از روش بهینه‌سازی است که از نظریه انتخاب و پردازش ژنتیکی در طبیعت الهام گرفته شده است. این الگوریتم یک معماری عمومی را برای حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده ارائه می‌نماید. مشکل اصلی الگوریتم‌های ژنتیک این است که تضمینی برای همگرا شدن مسئله به بهینه‌های سراسری ندارند. همچنین در این الگوریتم‌ها ممکن است همگرایی زودرس[2] اتفاق بیفتد و الگوریتم قابلیت خوبی برای حفظ بهینه‌های محلی در طی اجرا ندارد.

الگوریتم بهینه‌سازی گروه پرندگان (PSO)، دسته‌ای از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی جدید می‌باشد که از حرکات گروهی از پرندگان در حال جستجو برای غذا الهام گرفته شده است [۲]. در این الگوریتم هر پرنده سعی در برقراری ارتباط با اجزای اطراف خود می‌کند تا با توجه به بهترین تجربه اجزای اطراف خود در یافتن جواب و همچنین به کارگیری بهترین تجربه خودش بتواند به سمتی حرکت کند که احتمال وجود جواب در آن جهت بیشتر است. الگوریتم PSO برای بهینه‌سازی چندوجهی، قابلیت نگهداری تعداد زیادی از بهینه‌های محلی را نداشته و احتمال دارد که آن‌ها را در طی اجرا از دست دهد.

در حیطه سیستم‌های ایمنی مصنوعی نیز الگوریتم‌های مختلفی ارائه شده است. الگوریتم CLONALG [۳] بر اساس اصل انتخاب کلونی و با ماهیتی تکاملی[3] ایجاد شده و به طور کامل مراحل انتخاب کلونی، تکثیر و ایجاد نسل جدید از طریق جهش ژنی را انجام می‌دهد. در مرحله انتخاب، سلول‌های ایمنی با بالاترین نزدیکی به جواب به عنوان والد برگزیده می‌شوند. عمل تکثیر با نسخه برداری از سلول والد انجام می‌گردد. برای ایجاد نسل جدید جهش ژنی بر روی سلول‌های تولید شده، انجام می‌شود. سلول‌های تولید شده با بالاترین نزدیکی در جمعیت سلول‌ها ، جایگزین سلول‌های با مقدار نزدیکی پایین می‌شوند. این الگوریتم برای کاربردهای عمومی بهینه‌سازی

---

[1] Particle Swarm Optimization
[2] Premature convergence
[3] Evolutionary

و تشخیص الگو مطرح گردیده است [۴]، ولی به علت این که فقط به سلول‌های دارای مقدار بالا در تابع هدف توجه می‌کند، در کشف و نگهداری بهینه‌های محلی ضعف دارد.

الگوریتم opt-aiNet [۵]، الگوریتم دیگری است که برای حل مسائل بهینه‌سازی چندوجهی مطرح شد. این الگوریتم در ابتدا با انجام عملیات تکثیر و جهش، سعی در بهینه‌سازی محلی جواب‌های موجود در جمعیت سلول‌های ایمنی دارد. برای این که الگوریتم برای بهینه‌سازی چند وجهی مناسب باشد، نرخ تکثیر سلول‌ها وابسته به والد آن‌ها نیست تا امکان اکتشاف فضای مسئله در کل جمعیت فراهم باشد. سپس یک عملیات بازدارندگی برای تعامل بین سلول‌های ایمنی انجام می‌شود. تعدادی از سلول‌هایی که سلول‌های دیگری شبیه آن‌ها وجود دارند، از جمعیت حذف می‌شوند تا فقط سلول‌های بهتر باقی بمانند. پس از آن تعدادی سلول جدید به صورت تصادفی ایجاد شده و به جمعیت اضافه می‌گردند. این کار برای اکتشاف بهتر کل فضای مسئله می‌باشد [۵]. این الگوریتم برای کاربردهای بهینه‌سازی چند وجهی، روش پایه‌ای مناسبی است. یکی از مهمترین معایب قابل توجه در این الگوریتم، ضعیف بودن سطح تعامل بین سلول‌های شبکه می‌باشد.

الگوریتم‌های مبتنی بر ایمنی دیگری نیز بر پایه‌ی opt-aiNet مطرح شده اند که از این جمله می‌توان از CoAIN [۶۰] و PiNet [۴۵] نام برد.

۱-۳ محدوده‌ی تحقیق

هدف از این تحقیق، بهبود مدل ریاضی سیستم‌های AIS موجود برای حل مسائل بهینه‌سازی چند وجهی می‌باشد. به واسطه اهمیت سیستم‌های ایمنی مصنوعی و کاربردهای روز افزون آن‌ها، توسعه این الگوریتم‌ها از اهداف اصلی است. به همین دلیل این تحقیق در حیطه سیستم‌های ایمنی مصنوعی و کاربرد آن‌ها در مسائل بهینه‌سازی چند وجهی می‌باشد و درگیر جزئیات سایر رهیافت‌های محاسباتی برای بهینه‌سازی چند وجهی نمی‌شود.

در این تحقیق تلاش بر این است که یک الگوریتم بهینه‌سازی چندوجهی با سرعت همگرایی بالا و تعداد زیادی جواب نیمه بهینه ارائه گردد. اصلاح چگونگی انجام جهش و شیوه تعامل بین سلول‌های درون شبکه و اکتشاف کامل‌تر فضای مسئله، محورهای این تحقیق می‌باشند.

۱-۳-۱ اهداف تحقیق

الگوریتم‌های AIS موجود برای حل مسائل چند وجهی دارای نقص‌هایی هستند که یکی از مهمترین آن‌ها، تعداد تکرار بالا و زیاد نبودن تعداد جواب‌های بهینه محلی پیدا شده توسط الگوریتم می‌باشد.

هدف از این تحقیق، بهبود و اصلاح مدل ریاضی الگوریتم‌های شبکه ایمنی به منظور دستیابی به الگوریتم مؤثرتری برای حل مسائل چند وجهی می‌باشد. محوریت این تحقیق، اصلاح چگونگی انجام جهش و شیوه تعامل بین سلول‌های درون شبکه و تلاش برای اکتشاف کامل فضای مسئله تابع هدف بهینه‌سازی است. همچنین ارائه راهکارهایی به منظور افزایش استحکام و قدرت الگوریتم در یافتن بیشترین تعداد بهینه محلی در کمترین زمان ممکن، از نقاط مورد توجه در تحقیق است.

۱-۳-۲ اهمیت و ارزش تحقیق و کاربرد نتایج تحقیق

با وجود تحقیقاتی که در طی سال‌های گذشته بر روی سیستم‌های ایمنی مصنوعی انجام شده، هنوز چارچوب دقیق و جامعی برای این سیستم‌ها و کاربردهای آن‌ها تعریف نشده است. همچنین به علت پیچیدگی سیستم‌های ایمنی، هنوز تمام قابلیت‌های محاسباتی آن‌ها به طور کامل کشف نگشته است. به همین دلیل، ادامه تحقیق برای یافتن کاربردهایی که برای حل با AIS مناسب باشند، ارزشمند می‌باشد.

از طرف دیگر، بهینه‌سازی چند وجهی علاوه بر کاربرد در حل توابع ریاضی، در بهینه‌سازی مسائل چند وجهی دنیای واقعی نیز کاربرد دارد. زیرا بسیاری از مسائل علمی و مهندسی واقعی، دارای چندین جواب بهینه و نیمه‌بهینه می‌باشند که یافتن بهینه‌های محلی در کنار بهینه‌های سراسری می‌تواند در انتخاب راه حلی مناسب و امکان‌پذیر به تصمیم‌گیرندگان کمک کند. همچنین الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند وجهی می‌توانند پایه‌ای برای ایجاد الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفی[1] باشند. بنابراین یافتن الگوریتم‌های کارا برای حل این مسائل، می‌تواند پیشرفتی در مسائل کاربردی هوش مصنوعی (مثل روباتیک، مسیریابی و ...) باشد.

[1] Multi-objective

۱-٤ ساختار پایان نامه

این پایان نامه از شش فصل تشکیل یافته است:

فصل اول «معرفی»، به معرفی مسئله تحقیقی و ابعاد جنبه‌های مختلف آن پرداخته است.

فصل دوم «مبانی ایمنی شناسی»، به معرفی و شرح مختصر برخی از مفاهیم، ویژگی‌ها و عملکردهای سیستم ایمنی زیستی در بدن موجودات زنده می‌پردازد. همچنین نظریه‌هایی مطرح‌شده در مورد شیوه انجام عملیات محاسباتی در سیستم‌های ایمنی طبیعی، در پایان این فصل شرح داده شده‌اند.

فصل سوم «مدل‌های محاسباتی و الگوریتم‌های مبتنی بر ایمنی»، موضوعات مرتبط با شیوه مدل‌سازی مفاهیم ایمنی‌شناسی در الگوریتم‌های محاسباتی را مطرح می‌کند و سپس اشاره‌ای به مهمترین الگوریتم‌های سیستم ایمنی مصنوعی شده است.

فصل چهارم «کارهای انجام‌شده در بهینه‌سازی چندوجهی»، به تشریح مسائل بهینه‌سازی چند وجهی پرداخته و مروری بر الگوریتم‌های ارائه‌شده برای حل این مسائل و به خصوص الگوریتم‌های مبتنی بر ایمنی انجام می‌دهد.

فصل پنجم «الگوریتم ایمنی پیشنهادی برای بهینه‌سازی توابع چند وجهی»، الگوریتم ارائه شده در این پایان نامه را شرح می‌دهد. در این فصل علاوه بر توضیح کلی در مورد الگوریتم و مراحل اجرای آن، یک توصیف ریاضی از الگوریتم نیز ارائه می‌گردد.

فصل ششم «ارزیابی الگوریتم و جمع‌بندی»، به ارائه نتایج عملی اجرای الگوریتم و مقایسه آن با دو الگوریتم ایمنی دیگر می‌پردازد. همچنین میزان تحقق یافتن اهداف مورد نظر تحقیق و زوایای پوشش داده نشده نیز بررسی شده اند.

فصل دوم

مبانی ایمنی‌شناسی

در علم پزشکی منظور از «ایمنی[1]»، شرایطی است که ارگانیسم بدن می‌تواند در مقابل بیماری‌ها مقاومت نماید و تعریف دقیق‌تر آن، واکنش بدن نسبت به عوامل بیگانه (بیماری‌زا[2]) است که شامل دو نوع واکنش ایمنی[3] اولیه و ثانویه می‌باشد.

پستانداران سیستم دفاعی مستحکمی به نام سیستم ایمنی[4] برای مقابله با عوامل بیماری‌زای بیگانه و بالقوه خطرناک دارند. سیستم ایمنی متشکل از مجموعه‌ای از اندام‌ها، سلول‌ها و مولکول‌ها است که در مواجهه با عوامل بیماری‌زا واکنش هماهنگی، موسوم به واکنش ایمنی، را از خود نشان می‌دهند. در نگاه گسترده‌تر، عملکرد فیزیولوژیکی سیستم ایمنی، دفاع از بدن در برابر هر نوع ماده یا جسم مضر از قبیل قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و سایر تک‌سلولی‌ها می‌باشد. اگر چه که اجسام بیگانه غیرمسری نیز موجب ایجاد واکنش ایمنی می‌گردند.

---

[1] Immunity
[2] Pathogen
[3] Immune response
[4] Immune system