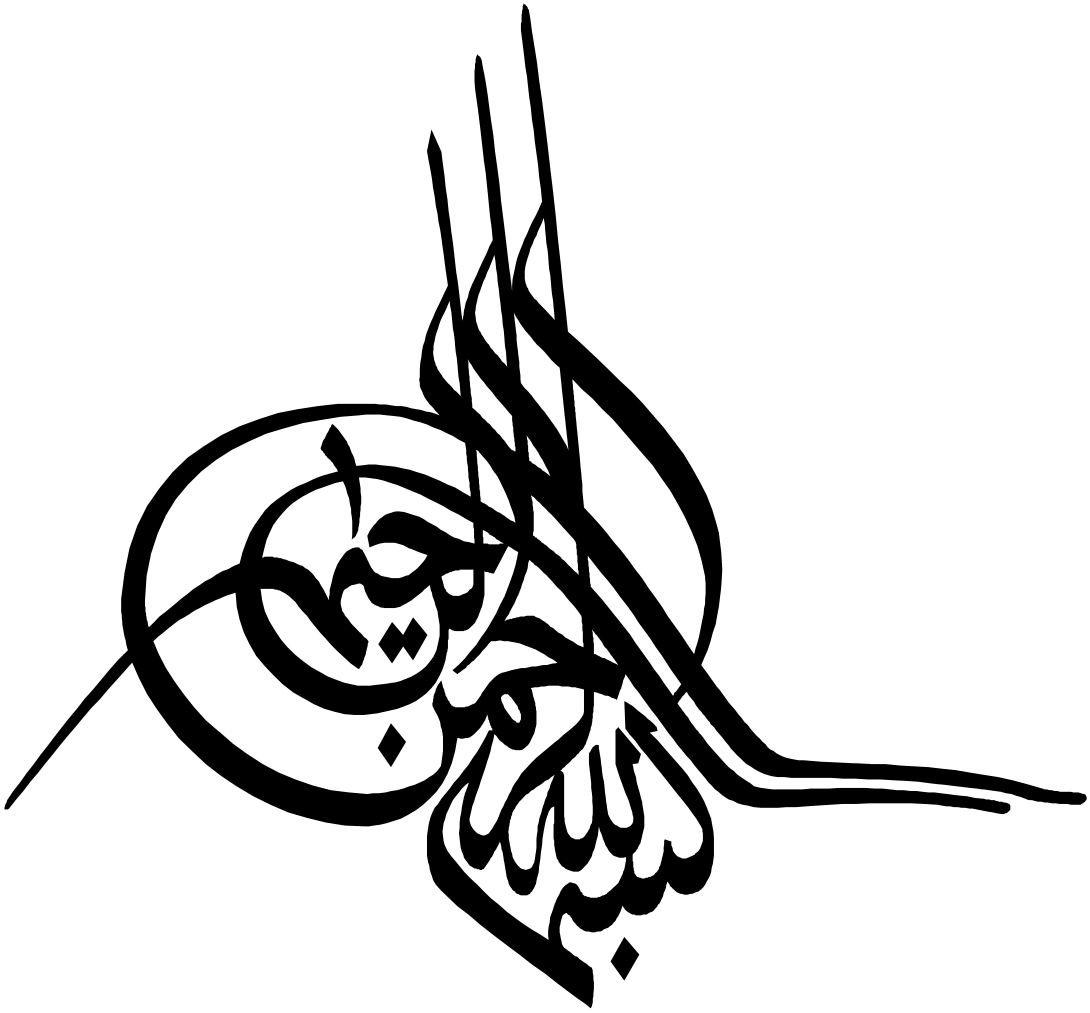

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد الکترونیک

عنوان:

استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی بهبود یافته در خوشه‌یابی تصاویر

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر سیدحمید ظهیری

استاد مشاور :

جناب آقای دکتر ناصر مهرشاد

نگارش:

علی رضا سردار

فهرست

مقدمه ۱

۱. الگوریتم‌های زیستی ۳

۱.۱. شبکه‌های عصبی ٤

۱.۲. منطق فازی ۸

۱.۳. الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت ۱۰

۱.۳.۱. الگوریتم ژنتیک (GA) ۱۱

۱.۳.۲. الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت ذرات (PSO) ۱٦

۱.۳.۳. الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها (ACO) ۲۰

۱.۳.٤. الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) ۲٤

۲. خوشه‌یابی و کاربرد آن در پردازش تصویر ۲٦

۲.۱. کوانتیزه سازی تصویر ۲٦

۲.۲. ناحیه‌بندی تصویر ۲٦

۲.۳. روش‌های خوشه‌یابی ۲۷

۲.۳.۱. الگوریتم خوشه‌یابی K-means ۲۷

۲.۳.۲. خوشه‌یابی با استفاده از GA ۳۱

۲.۳.۳. خوشه‌یابی با استفاده از PSO ٤۲

۲.۳.٤. خوشه‌یابی با استفاده از ACO ٥٥

۳. روش GSA بهبود یافته و کاربرد آن در خوشه‌یابی ٦٤

۳.۱. معرفی الگوریتم جستجوی گرانشی سیاره‌ها و سیاهچاله‌ها (PABH-GSA) ٦٤

۳.۲. الگوریتم خوشه‌یابی نظارت نشده با استفاده از PABH-GSA ۷٤

۳.۳. کوانتیزه‌سازی تصویر با استفاده از PABH-GSA ۷۹

۳.٤. ناحیه‌بندی تصویر با استفاده از PABH-GSA ۸۳

۳.٥. نتیجه‌گیری و بحث ۹٥

مراجع ۹۷

هوالعلیم

تشکر و قدردانی

امام علی (ع): من علمنی حرفا فقد سیرنی عبدا

بر خود لازم می دانم تا از زحمات اساتید بزرگوار، جناب آقای دکتر سید حمید ظهیری، جناب آقای دکتر ناصر مهرشاد و جناب آقای دکتر سید محمد رضوی که تاثیر بسزایی در تعلیم و تربیت اینجانب داشتند، تشکر و قدردانی نمایم و از خداوند متعال توفیق روز افزون برای این بزرگواران را آرزومندم.

چکیده

از نظر عملی مسئله خوشه‌یابی به عنوان یک هدف اولیه در بازشناسی الگو مطرح است و به علت کاربرد فـراوان آن در زمینه‌هایی مثل داده‌کاوی، پردازش تصویر و ماشین بینایی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. تـاکنون از روش‌های ابتکاری مختلفی به منظور خوشه‌یابی استفاده شده است. در اکثر روش‌های خوشه‌یابی، نیاز است تـا تعـداد خوشه‌ها از قبل توسط کاربر مشخص شود (خوشه‌یابی نظارت شده) که در اکثر موارد چنین اطلاعاتی در دسترس نیست و این به عنوان یکی از معایب اینگونه روش‌ها به حساب می‌آید البته الگوریتم‌های مختلفی برای رفع این مشـکل ارائـه شده است که از آن جمله می‌توان به DCPSO، VLIGA، GCUK و MEPSO که مبتنی بر روش‌های هوش‌جمعـی می‌باشد، اشاره کرد. در این تحقیق سعی شده است که یک روش خوشه‌یابی نظارت نشده به منظور خوشه‌یـابی تصـاویر با استفاده از الگوریتم بهبود یافته جستجوی گرانشی ارائه شود. در ابتدا الگوریتم جستجوی گرانشی کـه یـک الگـوریتم جدید در زمینه هوش‌جمعی است معرفی شده و پس از بهبود عملکرد آن، (با الهـام از پدیـده سـیاهچاله‌هـا در طبیعـت) الگوریتم خوشه‌یابی مورد نظر ارائه می‌گردد. در پایان پـس از بررسـی عملکـرد الگـوریتم پیشـنهادی بـر روی تعـدادی مجموعه داده آزمایشی، در دو کاربرد کوانتیزه‌سازی و ناحیه‌بندی تصویر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

University Of Birjand
Faculty OF Engineering

Image clustering using modified Gravitational Search Algorithm

Supervisor:

Dr. Seyyed Hamid Zahiri

Advisor:

Dr. Naser Mehrshad

Thesis submitted by

Ali Reza Sardar

In partial fulfillment of the requirements for the
Degree of M.Sc in Electronic Engineering
At University Of Birjand

Abstract

in practice, clustering problem, is a primary goal in pattern recognition and has attracted many researchers due to its abundant use in some fields such as data minning, image processing and machine vision. so far, several innovative methods have been used for clustering problem, in most clustering ways, the number of clusters needed to be specified by the user before use (supervised clustering), that in most cases such information is not available and it is considered as one of the disadvantages of these methods. of course, different algorithms is presented to solve this problem such as: DCPSO, VLIGA, GCUK and MEPSO that are based on swarm intelligent. in this study, author has tried to propose an unsupervised clustering algorithm for image clustering applications. the proposed algorithm use gravitational search algorithm (GSA) that is a new swarm intelligent algorithm. at first, GSA is introduced and in continuance, after improvement of it’s performance, (with sprite of black holes phenomenon in nature) proposed algorithm is presented. at the end, after study of proposed algorithm, on several experimental data sets, it is utilized for image quantization and image segmentation that are two subjects in image processing.

مقدمه

تاکنون روش‌های ریاضی مختلفی برای حل مسائل غیرخطی و بهینه‌سازی مطرح شده‌اند که از آن جمله می‌توان به روش‌های لاگرانژ، گرادیان کاهشی و روش نیوتن اشاره کرد. در اکثر این روش‌ها از اطلاعات مربوط به مشتق اول و یا مشتق دوم تابع هدف، نسبت به متغیرهای کنترلی در هر گام برای حرکت به سوی نقطه بهینه استفاده می‌شود. ماهیت غیرخطی و نیز وجود برخی متغیرهای گسسته در توابع هدف، استفاده از این روش‌ها را با محدودیت مواجه می‌سازد. همچنین با افزایش ابعاد مسئله، هزینه محاسباتی نیز به شدت افزایش می‌یابد که این مسئله نیز باعث کاهش انگیزه در استفاده از این روش‌ها می‌شود. از طرفی بسیاری از مسایل نوین بهینه‌سازی وجود دارد که به علت پیچیدگی بیش از حد و ارتباط مبهم بین متغیرهای آن هیچ تابعی برای توصیف آنها نمی‌توان تعریف کرد و عملا با استفاده از روش‌های ریاضیات کلاسیک، این گونه مسایل را نمی‌توان تحلیل کرد. چند نمونه از این مسایل به شرح ذیل می‌باشد.

مسئله فروشنده دوره گرد: اساس مسئله به این صورت است که یک فروشنده دوره گرد TSP[1] وجود دارد که قرار است به n شهر سفر کرده و از هر شهر فقط یکبار عبور کند. حال این سوال مطرح است که پس از شروع از شهر اول چه مسیری توسط این فروشنده انتخاب شود تا مسافت طی شده به طور مناسبی کاهش پیدا کند. این مسئله در بسیاری از کارهای عملی بخصوص مسیریابی شبکه‌های کامپیوتری یا مسیریابی وسائط نقلیه در جاده‌های شهری یا بین شهری کاربرد دارد. برای حل این مسئله این طور به نظر می‌رسد که ابتدا مسافت تمام مسیرهای ممکن محاسبه شود و سپس کوتاهترین مسیر از بین آنها به عنوان جواب مسئله انتخاب گردد. اگر تعداد شهرها n باشد در حالت کلی تعداد مسیرهای ممکن $(n-1)!$ خواهد بود. حال اگر زمان صرف شده برای محاسبه هر مسیر را فقط $1\mu s$ درنظر بگیریم و تنها ۲۱ شهر داشته باشیم، زمان صرف شده برای حل این مسئله فوق العاده طولانی خواهد بود:

$20! = 2/433\times10^{18}\times1\mu s = 2/433\times10^{12}\ S = 2/8\times10^{7}$ روز

مسئله زمانبندی کلاس: یکی از مشکلات اساسی در مراکز آموزشی بزرگ ارائه یک برنامه زمان‌بندی مناسب کلاسی با رعایت اولویت‌های مکانی و زمانی می‌باشد و هیچ روش کلاسیکی برای پیدا کردن بهترین برنامه ممکن وجود ندارد.

جایابی مکانی : در فرایند کوچک‌سازی مدارات مجتمع، چیدن قسمت‌های مختلف مدار به طوریکه در مجموع کمترین فضا اشغال گردد یکی از مشکلات اساسی است. همچنین این مسئله در مراکز تولید پوشاک به منظور نحوه چینش الگوها بر روی پارچه، برای داشتن کمترین تلفات ممکن نیز می‌تواند مطرح شود که برای حل آن از روش‌های کلاسیک نمی‌توان استفاده کرد.

[1] Traveling Salesman Problem

مثال‌های فوق، فقط برای آشنایی با ضعف محاسبات کلاسیک در حل بعضی از مسایل مطرح شد. و تقریبا می‌توان گفت که اکثر مسایل نوین مهندسی با روش‌های کلاسیک قابل حل نیستند. بنابراین یکسری روش‌های محاسباتی جدید نیاز است که این گونه مسایل با استفاده از آنها قابل حل باشد.

با توجه به مشکلات فوق، در دهه‌های گذشته، تلاش‌های گسترده‌ای به منظور ابداع روش‌های محاسباتی جدید، با الگو برداری از طبیعت انجام شد. در اثر این تلاش‌ها، روش‌های نوین محاسباتی که با نام الگوریتم‌های زیستی (طبیعی) معروف است، به وجود آمد که از معروفترین آنها می‌توان به الگوریتم ژنتیک اشاره کرد. در این تحقیق ابتدا در فصل اول تعدادی از معروفترین این روش‌ها معرفی می‌شود. در ادامه با توجه به اینکه مسئله خوشه‌یابی در زمینه‌هایی مانند داده‌کاوی، پردازش تصویر و ماشین‌بینایی کاربرد گسترده‌ای دارد و ضعف روش‌های سنتی در حل آن در بسیاری از موارد کاملا مشهود است، در فصل دوم ضمن معرفی مسئله خوشه‌یابی و کاربرد آن در کوانتیزه‌سازی و ناحیه‌بندی تصویر، ایده‌های مختلف مطرح شده جهت ارائه یک الگوریتم خوشه‌یابی با استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت (که شاخه‌ای از الگوریتم‌های زیستی محسوب می‌شود) مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج بدست آمده از این گونه الگوریتم‌ها و مقایسه آنها با نتایج روش‌های سنتی، به خوبی ضعف روش‌های سنتی را در مسئله خوشه‌یابی نمایان می‌کند.

یکی از جدیدترین الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت الگوریتم جستجوی گرانشی است. با توجه به نوپا بودن این الگوریتم، تاکنون تحقیقات زیادی در جهت بهبود آن (مانند آنچه در مورد سایر الگوریتم‌ها اتفاق افتاده است) و استفاده از آن در کاربردهای مختلف صورت نپذیرفته است. در فصل سوم مشکلات این الگوریتم، مورد بررسی قرار می‌گیرد و با توجه به تغییرات انجام شده در روند الگوریتم، جهت رفع این مشکلات، نوع بهبود یافته این الگوریتم (با الهام از پدیده سیاهچاله‌ها در طبیعت)، با نام الگوریتم جستجوی گرانشی سیاره‌ها و سیاهچاله‌ها معرفی می‌شود. در ادامه با توجه به نتایج بسیار مناسب الگوریتم پیشنهادی (به ازای تعدادی از توابع محک)، یک الگوریتم خوشه‌یابی با استفاده از آن معرفی شده و در دو کاربرد کوانتیزه‌سازی و ناحیه‌بندی تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱. الگوریتم‌های زیستی

بسیاری از مسایل پیچیده در طبیعت با استفاده از فرایندهای اتفاقی اما هدفمند به بهترین شکل قابل حل می‌باشد. از جمله آنها، می‌توان به توانایی مورچه‌ها در پیدا کردن یک مسیر بسیار نزدیک بین لانه و محل غذا نام برد در صورتیکه مورچه‌ها موجوداتی کاملا نابینا هستند. توانایی سیستم دفاعی بدن موجودات در مقابله با بیماری‌ها یا سازگاری موجودات با محیط پیرامون خویش یا تنازع آنها برای بقا از مسایلی هستند که قوانین موجود در طبیعت به بهترین شکل ممکن آنها را حل کرده است. مطالعه و تحقیق بر روی این پدیده‌ها باعث شد که در دهه‌های گذشته روش‌های بهینه‌یابی جدیدی با الهام از طبیعت به وجود آید.

در یک دسته‌بندی کلی می‌توان الگوریتم‌های زیستی را به ۳ دسته تقسیم کرد:

۱- شبکه‌های عصبی

۲- سیستم‌های فازی

۳- الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت

۱.۱. شبکه‌های عصبی

از قرن نوزدهم به طور همزمان اما جداگانه، از سویی نروفیزیولوژیست‌ها سعی کردند سامانه یادگیری و تجزیه و تحلیل مغز را کشف کنند و از سوی دیگر ریاضیدانان تلاش کردند تا یک مدل ریاضی بسازند که قابلیت فراگیری و تجزیه و تحلیل عمومی مسائل را دارا باشد. اولین کوشش‌ها در شبیه‌سازی، با استفاده از یک مدل منطقی، توسط مک کلوک و والتر پیتز انجام شد که امروزه بلوک اصلی سازنده اکثر شبکه‌های عصبی مصنوعی را تشکیل می‌دهد. این مدل فرضیه‌هایی در مورد عملکرد نرون‌ها ارائه می‌کند. عملکرد این مدل مبتنی بر جمع ورودی‌ها و ایجاد خروجی است. چنانچه حاصل جمع ورودی‌ها از مقدار آستانه بیشتر باشد اصطلاحا نرون برانگیخته می‌شود. نتیجه این مدل اجرای توابع ساده مثل AND و OR بود.

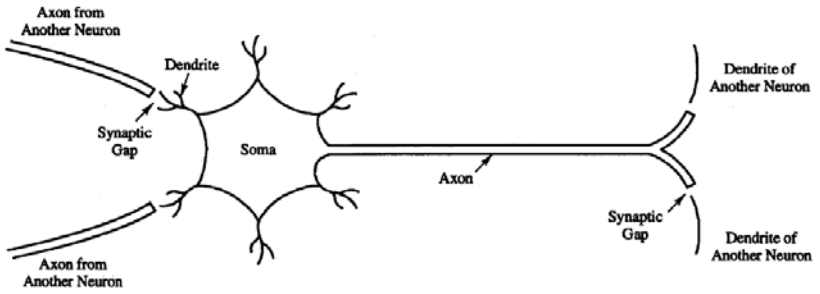
نه تنها نروفیزیولوژیست‌ها بلکه روانشناسان و مهندسان نیز در پیشرفت شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی تاثیر داشتند. در سال ۱۹۵۸ شبکه پرسپترون توسط روزنبلات [30] معرفی گردید. این شبکه نظیر واحدهای مدل شده قبلی بود. پرسپترون دارای سه لایه ورودی، میانی و خروجی است که لایه میانی، خود می‌تواند شامل لایه‌های متعددی باشد. این سامانه می‌تواند یاد بگیرد که به ورودی داده شده، خروجی آموخته شده متناظر را اعمال کند. سامانه دیگر، مدل خطی تطبیقی نرون می‌باشد که در سال ۱۹۶۰ توسط ویدرو و هاف [31] (دانشگاه استنفورد) به وجود آمد که اولین شبکه‌های عصبی به کار گرفته شده در مسائل واقعی بودند

در سال ۱۹۶۹ میسکی و پاپرت [32] کتابی نوشتند که محدودیت‌های سامانه‌های تک‌لایه و چندلایه پرسپترون را تشریح کردند. نتیجه این کتاب پیش داوری و قطع سرمایه‌گذاری برای تحقیقات در زمینه شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی بود. آنها با طرح این موضوع که شبکه عصبی پرسپترون قادر به حل هیچ مساله جالبی نمی‌باشد، تحقیقات در این زمینه را برای مدت چندین سال متوقف کردند.

با وجود اینکه اشتیاق عمومی و سرمایه‌گذاری‌های موجود به حداقل خود رسیده بود، برخی محققان تحقیقات خود را برای ساخت ماشین‌هایی که توانایی حل مسائلی از قبیل تشخیص الگو را داشته باشند، ادامه دادند. از جمله گراسبگ [34] که شبکه‌ای برای تشخیص صحبت پیوسته و کنترل دست ربات مطرح کرد. اندرسون [35] و کوهونن [36] نیز از اشخاصی بودند که تکنیک‌هایی برای یادگیری ایجاد کردند. ورباس [37] در سال ۱۹۷۴ شیوه آموزش پس‌انتشار خطا را ایجاد کرد که یک شبکه پرسپترون چندلایه، البته با قوانین نیرومندتر آموزشی بود.

پیشرفت‌هایی که در سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ بدست آمد برای جلب توجه به شبکه‌های عصبی بسیار مهم بود. برخی فاکتورها نیز در تشدید این مساله دخالت داشتند، از جمله کتاب‌ها و کنفرانس‌های وسیعی که برای مردم در رشته‌های متنوع ارائه شد. امروزه نیز تحولات زیادی در تکنولوژی ANN[۲] ایجاد شده‌است.

در ادامه نحوه عملکرد یک نرون طبیعی به طور خلاصه بررسی می‌شود.



شکل(۱-۱) ساختار نرون طبیعی انسان

همانطور که در شکل (۱–۱) دیده می شود هر نرون طبیعی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است :

۱- بدنه سلول (Soma)

۲- دندریت (Dendrite)

۳- اکسون (Axon)

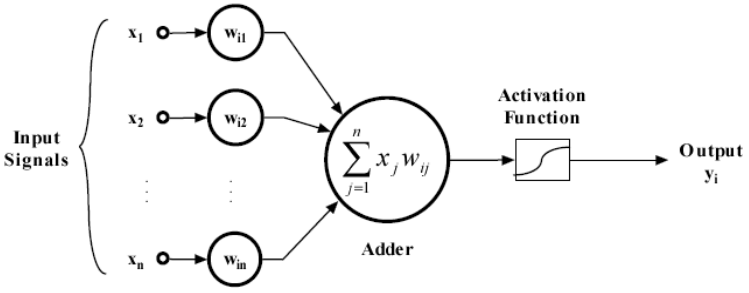
دندریتها به عنوان مناطق دریافت سیگنالهای الکتریکی، شبکه‌هایی تشکیل یافته از فیبرهای سلولی هستند که دارای سطح نامنظم و شاخه‌های انشعابی بیشماری هستند. دندریتها سیگنالهای الکتریکی را به هسته سلول منتقل می‌کنند. بدنه سلول انرژی لازم را برای فعالیت نرون فراهم کرده و بر روی سیگنالهای دریافتی عمل می‌کند، که با یک عمل ساده جمع و مقایسه با یک سطح آستانه، مدل می‌گردد. اکسون بر خلاف دندریتها از سطحی هموارتر و تعداد شاخه‌های کمتری برخوردار می‌باشد. اکسون طول بیشتری دارد و سیگنالهای الکتروشیمیایی دریافتی از هسته سلول را به نرونهای دیگر منتقل می‌کند. محل تلاقی یک اکسون از یک سلول به دندریتهای سلولهای دیگر را سیناپس می‌گویند. توسط سیناپسها ارتباطات مابین نرونها برقرار می‌شود. به فضای مابین اکسون و دندریتها فضای سیناپسی گویند.

در حقیقت دندریتها به عنوان ورودی نرون و اکسون به عنوان خروجی و فضای سیناپسی محل اتصال این دو می‌باشد. زمانیکه سیگنال عصبی از اکسون به نرونها و یا عناصر دیگر بدن مثل ماهیچه‌ها می‌رسد، باعث تحریک آنها می‌شود.

[2] Artificial Neural Network

نرونها از هریک از اتصالات ورودی خود یک ولتاژ کم دریافت می‌کنند (توسط سیگنال عصبی ورودی) و آنها را با هم جمع می‌زنند. اگر این حاصل جمع به یک مقدار آستانه رسید اصطلاحا نرون آتش می‌کند و روی اکسون خود یک ولتاژ خروجی ارسال می‌کند که این ولتاژ به دندریتهایی که به این اکسون متصلند رسیده و باعث یکسری فعل و انفعالهای شیمیایی در اتصالات سیناپسی می‌شود و می‌تواند باعث آتش کردن نرونهای دیگر شود. تمامی فعالیتهای مغزی انسان توسط همین آتش کردنها انجام می‌شود.

همانگونه که گفته شد ما می‌توانیم توسط مفاهیم ریاضی یک نرون طبیعی را مدل کنیم. شکل زیر یک نرون مصنوعی را نشان می‌دهد.



شکل(۲-۱) ساختار یک نرون مصنوعی

سیگنالهای ورودی X_1 تا X_n معادل سیگنالهای عصبی ورودی و وزنهای W_{i1} تا W_{in} معادل مقادیر اتصالات سیناپسی ورودیهای نرون می‌باشند که جمعا ورودی نرون را تشکیل داده است.

تابع جمع‌کننده $\sum_{j=1}^{n} x_i w_{ij}$ تمامی عملیات هسته سلول را انجام می‌دهد. خروجی نرون توسط تابع زیر مشخص می‌شود:

$$y_i = ActivationFunction\left(\sum_{j=1}^{n} x_i w_{ij}\right) \qquad (۱-۱)$$

به خصوصیات زیر در مورد مغز انسان توجه کنید :

محاسبات کاملا به صورت توزیع شده وموازی انجام می‌شود.

"یادگیری" جایگزین برنامه‌ریزی از قبل می‌شود.

در مغز انسان یک ساختار ALU[3] مشخص وجود ندارد. ALU، حافظه و کنترل، همگی در یک ساختار درهم تنیده، شبکه‌ای از تعداد بسیار زیادی نرون توزیع شده است.

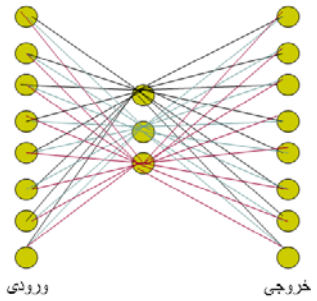
مغز انسان توسط یک پروسه یادگیری می‌آموزد که در پاسخ به یک ورودی، چه خروجی را تولید کرده و ارسال کند. این فرآیند یادگیری در حقیقت توسط تنظیم اتصالات سیناپسی در نرونهای طبیعی و معادل آنها در ANNها، تنظیم وزنهای w_{ij} نرونهای مصنوعی انجام می‌شود. در حقیقت در طراحی یک نرون مصنوعی فقط کافیست وزنهای w_{ij} را مشخص کنیم تا شبکه عصبی بتواند خروجی مورد نظر را از ورودی خاص تولید کند. روش‌های مختلف یادگیری وجود دارد که می‌تواند براساس زوج مرتبهای <خروجی، ورودی> مقدار وزنها را بدست آورد.

حال براساس مطالب گفته شده می‌توان شبکه عصبی مصنوعی (ANN) را به صورت زیر تعریف کرد.

شبکه‌های عصبی مصنوعی یک ساختار شبکه‌ای از تعدادی عناصر مرتبط به یکدیگر، به نام نرون می‌باشد که هر نرون دارای ورودیها و خروجیهایی است و یک عمل نسبتا ساده و محلی را انجام می‌دهد. شبکه‌های عصبی عموما عملکرد خود را طی یک پروسه یادگیری فرا می‌گیرد.

شبکه‌های عصبی در تشخیص الگو، گروه‌بندی، پیش‌بینی یا برون‌یابی کاربردهای گسترده‌ای دارند.

شکل زیر یک شبکه عصبی مصنوعی 8×3×8 را نشان می‌دهد.



شکل(۳-۱) یک نمونه شبکه عصبی 8×3×8

[3] Arithmetic and Logic Unit

۱.۲. منطق فازی

مفاهیم نادقیق بسیاری در پیرامون ما وجود دارند که آنها را به صورت روزمره در قالب عبارتهای مختلف بیان می‌کنیم. به این جمله دقت کنید: "هوا خوب است." هیچ کمیتی برای خوب بودن هوا مطرح نیست تا آن را اندازه بگیریم بلکه این یک حس کیفی است. در واقع مغز انسان با درنظر گرفتن عوامل گوناگون و بر پایه تفکر استنتاجی، جملات را تعریف و ارزش‌گذاری می‌نماید که الگوبندی آنها با زبان و فرمولهای ریاضی اگر غیر ممکن نباشد کاری بسیار پیچیده خواهد بود. منطق فازی فناوری جدیدی است که شیوه‌هایی را که برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم، نیازمند ریاضیات پیچیده و پیشرفته است، با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خبره جایگزین می‌سازد.

اگر از ما پرسیده شود منطق فازی چیست شاید ساده‌ترین پاسخ براساس شنیده‌ها این باشد که Fuzzy Logic یا Fuzzy Theory یک نوع منطق است که روش‌های نتیجه‌گیری در مغز بشر را جایگزین می‌کند. مفهوم منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط دکتر لطفی زاده [33] ارائه گردید.

پروفسور لطفی زاده اینطور استدلال کرد که بشر به ورودیهای اطلاعاتی دقیق، نیازی ندارد بلکه قادر است تا کنترل تطبیقی را به صورت بالایی انجام دهد. پس اگر ما کنترل کننده‌های بازخورد را در سیستم‌ها طوری طراحی کنیم که بتواند داده‌های مبهم را دریافت کند، این داده‌ها می‌توانند به طور ساده‌تر و موثرتری در اجرا به کار برده شوند.

اساس ریاضیات کلاسیک را منطق ارسطو تشکیل می‌دهد. براساس اصول و مبانی این منطق، همه چیز تنها مشمول یک قاعده ثابت است که به موجب آن: «آن چیز درست است یا نادرست». دانشمندان نیز بر همین اساس به تحلیل دنیای خود می‌پرداختند. گرچه آنها همیشه مطمئن نبودند که چه چیزی درست است و چه چیزی نادرست و همچنین درباره درستی یا نادرستی یک پدیده مشخص، ممکن بود دچار تردید شوند. البته آنها در یک مورد هیچ تردیدی نداشتند و آن اینکه هر پدیده‌ای یا"درست" است یا "نادرست".

منطق فازی، یک جهان‌بینی جدید است که با نیازهای دنیای پیچیده امروز بسیار سازگارتر از منطق ارسطویی است. منطق فازی جهان را آن طور که هست به تصویر می‌کشد. بدیهی است چون ذهن ما با منطق ارسطویی پرورش یافته، برای درک مفاهیم فازی در ابتدا باید کمی تامل کنیم، ولی وقتی آن را شناختیم، دیگر نمی‌توانیم به سادگی آن را فراموش کنیم. دنیایی که ما در آن زندگی می‌کنیم، دنیای مبهمات و عدم قطعیت است. مغز انسان عادت کرده است که در چنین محیطی فکر کند و تصمیم بگیرد و این قابلیت مغز که می‌تواند با استفاده از داده‌های نادقیق و کیفی به یادگیری و نتیجه گیری بپردازد، در مقابل منطق ارسطویی که لازمه آن داده‌های دقیق و کمی است، قابل تامل است.

منطق فازی دارای این قدرت است که در تنظیم سیستم‌ها از میکروکنترلهای ساده وکوچک و جاسازی شده گرفته تا PC های چند کاناله شبکه شده بزرگ یا سیستم‌های کنترلی به کار برده شود. این منطق دارای قدرت اجرایی در

سخت‌افزار، نرم‌افزار یا ترکیبی از هر دوی اینهاست. در واقع منطق فازی راه ساده‌ای را برای رسیدن به یک نتیجه قطعی و معین بر پایه اطلاعات ورودی ناقص، خطا دار، مبهم و دوپهلو فراهم می‌کند. منطق فازی یک قانون ساده بر مبنای

"**IF** x **And** y **THEN** z"

را بیان می‌کند.

به عنوان مثال به جای برخورد با اصطلاحاتی نظیر

"SP=500F" "210<TEMP<220"،"T<1000F"

اصطلاحاتی نظیر

"**IF** (process is too cool) **AND** (process is getting colder) **THEN**

(Add heat to the process) "

Or

"**IF** (process is too hot) **AND** (process is heating rapidly) **THEN**

(Cool the process quickly)"

به کار برده شود.

درست مثل کاری که در هنگام دوش گرفتن انجام می‌دهیم در صورتی که آب خیلی سرد یا خیلی گرم باشد بدون اینکه از درجه دقیق آب اطلاعی داشته باشیم تنها براساس پردازش انجام شده در مغز به کمک دریافت دمای هوا از طریق حسگرهای پوست و با کمی سختی کشیدن آب را به سرعت به دمای دلخواه در می‌آوریم یا آنکه می‌توانیم در یک اتاق به اشیاء گوناگونی نگاه کنیم و تصمیم بگیریم کدامیک بیشتر شبیه صندلی است.

هدف اصلی ازمنطق فازی آنست که مسائل و مشکلات بسیار پیچیده علمی را رایانه‌ها بتوانند با همان سهولت و شیوایی بررسی و حل و فصل کنند که ذهن انسان قادر به ادراک و اخذ تصمیمات سریع و مناسب است.

منطق فازی کاربردهای متعددی دارد. یک مثال ساده در این ارتباط، سیستم کنترل دما یا ترموستات است که براساس قوانین فازی کار می‌کند. سال‌هاست که از منطق فازی برای کنترل دمای آب یا میزان کدر شدن آبی که لباس‌ها در آن شسته شده‌اند، در ساختمان اغلب ماشین‌های لباسشویی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

امروزه ماشین‌های ظرفشویی و بسیاری از دیگر لوازم خانگی نیز از این تکنیک استفاده می‌کنند. منطق فازی در صنعت خودروسازی نیز کاربردهای فروانی دارد مثلاً سیستم ترمز و ABS در برخی از خودروها، از منطق فازی استفاده می‌کند. یکی از معروف‌ترین نمونه‌های به‌کارگیری منطق فازی در سیستم‌های ترابری جهان، شبکه مونوریل (قطار تک‌ریل) توکیو در ژاپن است. سایر سیستم‌های حرکتی و جابه‌جایی بار، مثل آسانسورها نیز از منطق فازی استفاده می‌کنند. سیستم‌های تهویه هوا نیز به وفور منطق فازی را به‌کار می‌گیرند. از منطق فازی در سیستم‌های پردازش تصویر نیز استفاده می‌شود. یک نمونه از این نوع کاربردها سیستم‌های تشخیص لبه و مرز اجسام و تصاویر است که در روباتیک نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی، خیلی از مواقع در ساختمان سیستم‌های تشخیص الگو، مثل سیستم‌های تشخیص گفتار و پردازش تصویر از منطق فازی استفاده می‌شود.

۱.۳. الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت

هرچند تنوع در الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت زیاد است اما اساس کار تمامی این روش‌ها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد.

در این الگوریتم‌ها هریک از اعضاء یک پاسخ برای مسئله مورد نظر ارائه می‌دهد. هریک از پاسخها با استفاده از یک تابع برازندگی[۴] ارزیابی می‌شود سپس پاسخ هریک از اعضا با توجه به برازندگی‌شان و روال موجود در هر یک از این الگوریتم‌ها به روز رسانی شده و این عمل برای تعداد تکرار مشخصی یا تا رسیدن به همگرایی انجام می‌شود. در نهایت بهترین عضو (از نظر برازندگی)، پس از پایان تعداد تکرار الگوریتم یا رسیدن میزان برازندگی آن به یک مقدار مطلوب، به عنوان پاسخ مسئله معرفی می‌شود.

از معروفترین الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت می‌توان به الگوریتم ژنتیک (GA[۵])، الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت ذرات (PSO[۶]) و الگوریتم بهینه‌یابی کلونی مورچه‌ها (ACO[۷]) اشاره کرد همچنین الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA[۸]) جدیدترین الگوریتم مبتنی بر جمعیت می‌باشد که تمامی اینها در ادامه معرفی می‌گردد.

[4] Fitness Function

[5] Genetic Algorithm

[6] Particle Swarm Optimization

[7] Ant Colony Optimization

[8] Gravity Search Algorithm

۱.۳.۱. الگوریتم ژنتیک (GA)

در راستای فهم کامل الگوریتم ژنتیک، ابتدا بهتر است با برخی از اصطلاحات زیستی به کار رفته در تئوری این الگوریتم آشنا شویم. همه موجودات زنده از واحدهای کوچکی به نام سلول تشکیل شده‌اند. هر سلول نیز به نوبه خود از مجموعه‌ای از یک یا چند کروموزوم تشکیل شده است. کروموزوم‌ها رشته‌هایی از مولکول DNA می‌باشند که در حقیقت برنامه کاری موجود زنده را در خود ذخیره می‌کنند. هر کروموزوم شامل چندین ژن است، و هر ژن بلوکی از مولکول DNA می‌باشد که پروتئین خاصی را کدگذاری می‌کند. به طور کلی می‌توان گفت که هر ژن یک خصیصه از موجود زنده (مانند رنگ چشم) را کد گذاری می‌کند. حالت‌های ممکن برای یک خصیصه را آلل[۹] می‌گویند. هر ژن موقعیت مخصوص خود را در کروموزوم دارد که به آن لوکاس[۱۰] گفته می‌شود. بسیاری از موجودات زنده در هر سلول چندین کروموزوم دارند. مجموعه کامل مواد ژنتیکی در سلول (مجموعه همه کروموزوم‌ها) ژنوم[۱۱] نامیده می‌شود. اصطلاح ژنوتایپ[۱۲] به مجموعه خاصی از کروموزوم‌های موجود در ژنوم اتلاق می‌شود. ژنوتایپ‌ها در پی تحولات و تغییر، به فنوتایپ‌ها[۱۳] یا خصوصیات فیزیکی و ذهنی موجود زنده (مانند رنگ چشم، بلندی، اندازه مغز و یا میزان هوش) تبدیل می‌شوند. در طی تولید مثل، در اثر بازترکیب[۱۴]، ژن‌ها از کروموزوم‌های والدین با یکدیگر ترکیب شده تا کروموزوم کامل جدیدی را تشکیل دهند. در طی این تغییرات، ممکن است تغییرات کوچکی در برخی از بخش‌های DNA ژن‌های فرزند، بوجود آمده و فرزند دچار جهش[۱۵] گردد. در نهایت برازندگی یک موجود زنده با توجه به احتمال زیستن آن برای تکثیر(زیست پذیری[۱۶]) یا برحسب تابعی از تعداد فرزندان آن گونه (باروری[۱۷]) تعیین می‌شود.

با توجه به آنچه گذشت، الگوریتم ژنتیک بخشی از نظریه حسابگری تکاملی[۱۸] است که در حال حاضر به عنوان بخشی از هوش مصنوعی به سرعت در حال رشد می‌باشد. ایده اصلی این الگوریتم درنظریه تکامل داروین نهفته است. از نظر

[9] allele

[10] locus

[11] genome

[12] genotype

[13] phenotype

[14] crossover

[15] mutation

[16] viability

[17] fertility

[18] Evolutionary computing

کاربردی، الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه‌سازی مسائل است که اساس آن بـر انتخـاب طبیعـی (عامـل اصـلی تکامل زیستی) و برخی مفاهیمی که از علم ژنتیک الهام گرفته شده‌اند، استوار است. در این روش به بیان سـاده، بـرای بهینه‌سازی تابع هدف (تابع برازندگی) مساله، در هر مرحله، از یک جمعیت[۱۹] اولیه کروموزوم‌ها که در حقیقت پاسخ‌های اولیه مساله می‌باشند، به یک جمعیت جدید از کروموزوم‌ها و یا یک نسل جدید[۲۰] که در حقیقت پاسخ‌های ثانویه مسـاله مفروض می‌باشند می‌رسیم. و از این نسلها فقط آنهایی که سازگاری بیشتری با محیط اطراف خود دارند و یا به عبـارتی دیگر برازندگی بهتری دارند، شانس بیشتری برای ادامه حیات و تولید مثل خواهند داشت و بقیـه کرومـوزوم‌هـا از بـین خواهند رفت. بنابراین با تکرار این عملیات و تولید جمعیت جدید از جمعیت قبلی در هر مرحله و در نتیجـه رسـیدن بـه نسل‌های موفق، جمعیت به سمت یک پاسخ بهینه رشد خواهد کرد.

به عنوان یک مثال شهودی می‌توان نظریه تکامل زرافه‌ها را مطرح کرد:

> زرافه‌ها در ابتدا گردن‌های کوتاه مانند اسب‌ها داشتند و غذای آنها از برگ درختان بود. در اثر ازدیاد جمعیـت و رقابت بر سر منابع غذایی فقط زرافه‌هایی که دارای گردن بلندتری بودن شانس بیشتری بـرای دسترسـی بـه منابع غذایی و درنتیجه ادامه حیات و تولید مثل داشتند. این ویژگی در نسل آنها نیز بروز پیدا می‌کـرد. گـردن تعدادی از زرافه‌ها نیز به مرور زمان در اثر تلاش برای رسیدن به منابع غذایی افزایش می‌یافت. منابع غـذایی بر روی شاخه‌های کوتاه‌تر مرتب کاهش پیدا می‌کرد و رقابت بر سر شاخه‌های بلنـدتر بـه طـور مـداوم ادامـه داشت. بنابراین زرافه‌های دارای گردن کوتاه‌تر شانس کمتری برای ادامه حیات داشتند و به مـرور زمـان تلـف می‌شدند. با تکرار این روند تنازع برای بقا، پس از چندین نسل زرافه‌هـایی بـا گـردن‌هـای دراز و بـه صـورت امروزی به وجود آمدند.

با توجه به توضیحات فوق، الگوریتم ژنتیک بـه طـور خلاصـه معرفـی مـی‌شـود. در الگـوریتم ژنتیـک هـر کرومـوزوم نشان‌دهنده پاسخی از مساله مورد نظر می‌باشد. این پاسخ بسته به نوع کدسـازی مسـاله مـورد نظـر کـه بـا توجـه بـه خصوصیات مساله تعیین می‌شود، می‌تواند به صورت ماتریسی از اعـداد حقیقـی (کدسـازی حقیقـی) یـا یـک رشـته از بیت‌های ۰و۱ (کدسازی باینری) مطرح شود. بنابراین هر کدام از "ژن‌ها" که اجـزاء کرومـوزوم‌هـا هسـتند، مـی‌تواننـد نشانگر یک عدد حقیقی یا یک بیت باشند.

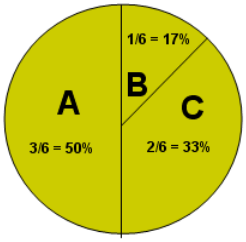
عملگرهای الگوریتم ژنتیک را می‌توان به طور کلی به ۳ دسته زیر تقسیم کرد.

[19] population

[20] generation

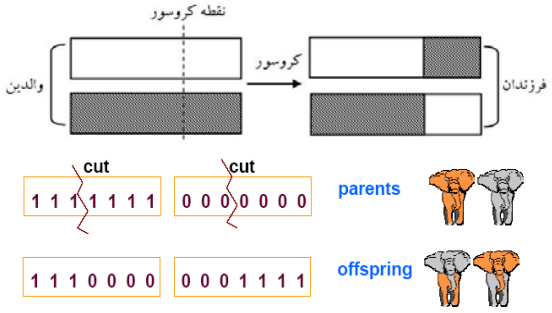
۱- انتخاب (Selection): در این عمل از هر جمعیت تعدادی کروموزوم برای تولید نسل بعدی انتخاب می‌شوند که به آن‌ها والدین[۲۱] می‌گویند. بدیهی است که شانس انتخاب افرادی که مساله به ازای آن‌ها بهینه‌تر می‌باشد، بیشتر است. برای انتخاب کروموزوم‌های والد روش‌های مختلفی وجود دارد که معروفترین آنها روش انتخاب چرخ رولت[۲۲] است و در آن احتمال انتخاب هر کروموزوم برابر نسبت برازندگی آن کروموزوم به مجموع برازندگی همه کروموزوم‌ها می‌باشد.

به عنوان مثال فرض کنید یک جمعیت با ۳ کروموزوم با برازندگی‌های A=3 و B=1 و C=2 وجود داشته باشد. احتمال انتخاب هریک از این کروموزوم‌ها به عنوان یک کروموزوم والد در شکل(۴-۱) نشان داده شده است.



شکل(٤-١) احتمال انتخاب هر یک از کروموزوم‌ها با روش انتخاب چرخ رولت

۲- بازترکیب (Crossover) : در این عمل با ترکیب دو کروموزوم والد یک یا چند کروموزوم فرزند تولید می‌شود بدین ترتیب که مثلا با انتخاب تصادفی یکی از ژن‌ها و تعویض ژن‌های بعد از آن بین دو کروموزوم والد، می‌توان به دو فرد جدید رسید. شکل‌های (۵-۱) تا (۷-۱) روش‌های مختلف اجرای بازترکیب بین دو والد را نشان می‌دهد.



شکل(۵-۱) بازترکیب تک نقطه‌ای (Single Point crossover)

[21] parents

[22] Roulette weel selection