

آشنائی با هوش محاسباتی

محمدرضا اصغری اسکوئی^۱

چکیده

کاربرد روش‌های محاسباتی هوشمند در کنار روش‌های سنتی مدت‌هاست که در علوم فنی و مهندسی جایگاه ثابت و ویژه به خود اختصاص داده است. این روند در علوم انسانی نیز سال‌هاست آغاز شده و امروزه در سطح جهان شاهد گرایش قابل توجهی از مقالات علمی به کاربرد محاسبات هوشمند در علوم انسانی هستیم. با توجه به این واقعیت و نتایج موفق آن و نیاز محققین حوزه‌های علوم انسانی و علوم پایه، این مقاله در صدد ارائه مفاهیم و تکنیک‌های محاسبات هوشمند به مخاطبین خود است.

این مقاله ابتدا با مطالعه مشخصه‌های هوش انسانی تعریفی از هوش محاسباتی^۲، تاریخچه و ویژگی‌های آن را ارائه داده و سپس به برخی زمینه‌های اصلی کاربرد هوش محاسباتی می‌پردازد. در ادامه مقاله تعدادی از مشخصه‌های یک سامانه هوشمند شامل درک مفاهیم نسبی و محاوره‌ای، استنتاج و نتیجه‌گیری و نیز یادگیری را مورد توجه قرار داده و تکنیک‌های شناخته شده در این ارتباط را همراه با نمونه‌های کاربردی معرفی می‌نماید.

در بخش اول پس از معرفی هوش محاسباتی، این مقاله منطق فازی^۳ و توانائی آن در ارائه مدل ریاضی برای بیان مفاهیم توصیفی و غیر قطعی معرفی می‌کند و سپس یک سامانه استنتاج فازی^۴ مبتنی بر پایگاه دانش^۵ را معرفی می‌نماید. در بخش دوم، ضمن

۱. هیئت علمی دانشگاه علامه طباطبائی (oskoei@atu.ac.ir)

2. Computational Intelligence

3. Fuzzy Logic

4. Fuzzy Inference System

5. Knowledge base

ارائه تعریفی از یادگیری ماشین^۱، ساختار شبکه‌های عصبی^۲ و انواع آنها معرفی شده و یک نمونه کاربرد شبکه‌های عصبی در یادگیری الگوی ارقام دستنوشته و کاربرد آن توضیح داده می‌شود.

۱- مقدمه

هوشمندی صفتی است که ذاتا ریشه در طبیعت و انسان دارد، اما امروزه این صفت برای مصنوعات بشری نیز به کار می‌رود. صفت هوشمندی درصدد است اطمینانی در مخاطب خود ایجاد کند که اگر آدمی خبره خود حضور ندارد، رویکرد هوشمند او در عملکرد عامل^۱ هوشمند، مشابه سازی شده و ایفاء نقش می‌کند. صفت هوشمندی چنین القاء می‌کند که عامل هوشمند خواسته‌های مخاطب خود را می‌فهمد، شرایط محیطی را به خوبی درک می‌کند، از تجربیات گذشته آموخته و آنها را به درستی به کار می‌گیرد، در صورت نیاز انعطاف داشته و حتی تغییر برنامه می‌دهد و در نهایت تصمیم‌گیری می‌کند.

هدف از مطالعه هوش محاسباتی، ساخت عامل هوشمند است. یک عامل در محیط قرار گرفته، شرایط را درک می‌کند و کار و مأموریت خود را به انجام می‌رساند. عامل می‌تواند یک باکتری، سگ، ترموستات، هواپیما، برنامه رایانه، انسان، سازمان و حتی یک جامعه باشد. هدف غائی در مطالعه هوش محاسباتی رسیدن به اصولی است که پیاده سازی رویکردهای هوشمند را چه در طبیعت و چه در مصنوعات بشری میسر می‌نماید. البته یک پیش فرض اساسی در مطالعه هوش محاسباتی نهفته است و آن اینکه استدلال و استنتاج یک فرایند محاسباتی است و قابل شبیه سازی در ابزارهای محاسباتی امروزی می‌باشد 0.

هوش مصنوعی^۲ نام دیگری برای این حوزه مطالعاتی است، که البته ترکیب هوش و مصنوعی یک نوع ابهام و تناقض با خود دارد. ترکیب هوش و مصنوعی دو مفهوم متفاوت انتقال می‌دهد: اول هوش قلابی^۳ در مقابل هوش واقعی و دوم هوش عمل‌آوری شده^۴ در مقابل هوش طبیعی است. مثلا سیب مصنوعی فقط یک سیب قلابی است و نمی‌تواند سیب قابل خوردن باشد. سیب عمل آمده نیز یک سیب است که در روندی غیر طبیعی ساخته شده و شبیه سیب طبیعی است. از آنجا که حوزه مطالعات هوش محاسباتی هم شامل هوش طبیعی و هم هوش ساخته شده (مصنوع) می‌باشد، ما در این نوشتار عنوان هوش محاسباتی را به جای هوش مصنوعی به کار می‌بریم.

1. Agent
2. Artificial Intelligence (AI)
3. Fake
4. Synthesized

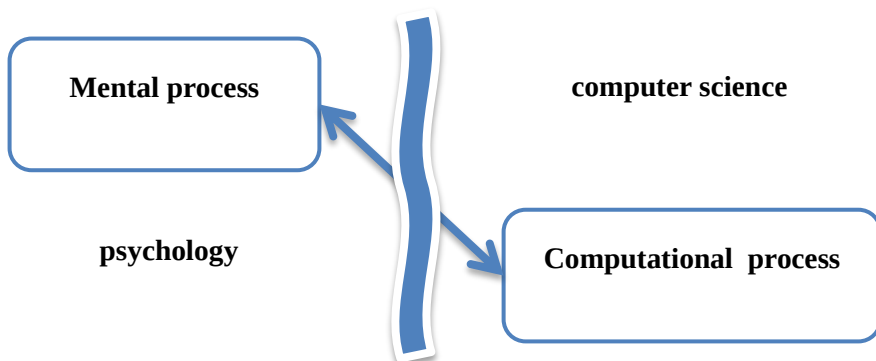
هوش محاسباتی مجموعه‌ای از روش‌های محاسباتی الهام گرفته از نمونه‌های طبیعی و زیستی است که برای حل مسائل با مدل‌های پیچیده‌ای که روش‌های سنتی در آنها ناکارآمد و یا ناممکن هستند به کار می‌رود^۱. روش‌های سنتی اغلب متکی بر اصول اولیه منطق، ریاضیات و مدل‌های آماری می‌باشند. این روش‌ها علیرغم قابلیت‌های چشمگیر خود، در تحلیل و مدلسازی برخی پدیده‌های دنیای اطراف ما ضعیف و کم توان می‌نمایند. برای مثال، بدن انسان با بیش از ۲۰۰ مفصل نمونه یک سیستم حرکتی پیچیده است، کنترل حرکت اندام و مفاصل مستلزم تحلیل و مدلسازی معادلات حرکتی آنها است. استخراج و حل این معادلات چه در معادلات حرکتی^۱ و چه در معکوس معادلات حرکتی^۲ از نظر ریاضی یک مسئله بسیار بسیار پیچیده است که براحتی قابل حل نیست، اما ذهن آدمی آن را به سادگی و بدون صرف منابع زیاد قادر به حل و مدیریت آن است.

مدل‌های ریاضی به دو گروه مسائل‌های خوش ساخت^۳ و غیر خوش ساخت تقسیم می‌شوند. مدل‌های خوش ساخت، دارای راه حل هستند، راه حل یکتاست و نسبت به تغییرات جزئی در شرایط آغازین مدل مقاوم^۴ می‌باشند. اما چنانچه اشاره شد دنیای اطراف ما مملو است از مسائلی پیچیده که مدل آنها لزوماً خوش ساخت نیست. قوانین حرارت یا قوانین حرکت با شرایط اولیه مشخص نمونه مدل‌های خوش ساخت می‌باشند اما معکوس قوانین حرارتی و یا قوانین حرکت خوش ساخت نمی‌باشند. به عبارتی ما همواره با مسائلی روبرو هستیم که یا اصولاً راه حل تدوین شده ندارند، یا این راه حل‌ها یکتا نمی‌باشند و باید راه حل مناسب شناسائی شده و سپس اعمال شود و یا راه حل‌ها اصولاً بسیار شکننده و ناپایدار هستند. این ویژگی‌ها نیاز به شناخت صحیح شرایط حاکم بر مسئله، تطبیق و انطباق با شرایط متغیر، و نیز کسب تجربه و یادگیری از مشاهدات قبلی در اعمال روش‌های مناسب را ایجاد می‌کند. روش‌های هوشمند با الهام گرفتن از رویکرد موجودات زنده در تداوم بقا و شرایط بهینه زندگی، روش‌های اکتشافی^۵ را به خدمت می‌گیرند.

1. Kinematics
2. Inverse kinematics
3. Well-posed
4. Robust
5. Heuristics

۲- تعریف و مراتب هوشمندی

هوشمندی اغلب به انسان اطلاق می‌شود اما طبیعت سرشار از هوشمندی در سطوح مختلف است و شاید آدمی فقط کاملترین شکل هوشمندی است. بنابراین هوشمندی یک صفت مطلق نیست و از مدارج و مراتب متفاوت تشکیل شده است. این واقعیت در مطالعات هوش محاسباتی نیز مصداق دارد. امروزه برای بسیاری از ادوات، صفت هوشمندی به کار می‌رود، در حالیکه کیفیت عملکرد آنها یکسان نیست و برخی مواقع عملکرد آنها مایوس کننده است. یکی از اهداف مطالعات هوش محاسباتی، شناخت و شبیه سازی فرایندهای ذهن آدمی به صورت فرایندهای محاسباتی است. اما این تنها هدف نیست، درجه بندی و متناسب سازی روش‌های هوشمند با زمینه‌های کاربرد آنها نیز از موضوعات مهم این مبحث می‌باشد.



شکل ۱. هوش محاسباتی یک زمینه تحقیقاتی میان رشته‌ای است.

هوش محاسباتی یک مبحث علمی میان رشته‌ای است. از یک سو علوم شناخت، ادراک و روان شناسی و در سوی دیگر علوم محاسبات و رایانه در این مطالعه نقش کلیدی دارند. برای شبیه سازی فرایند هوش زیستی ابتدا لازم است شناختی از انواع فرایندهای اصلی ذهن آدمی و ماهیت آنها داشته باشیم. این مهم در علوم ادراکی و روان شناسی انجام گرفته است. فرایندهای اصلی ذهن آدمی در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱. فهرست فعالیت‌های اصلی ذهن آدمی.

فعالیت ذهن	شرح
حس	perception
تفسیر	interpreting
استدلال	reasoning
یادگیری	learning
تصمیم‌سازی	decision making
تعامل و ارتباط	communication
تخصص	expertise
درک	common sense
ابداع	innovation

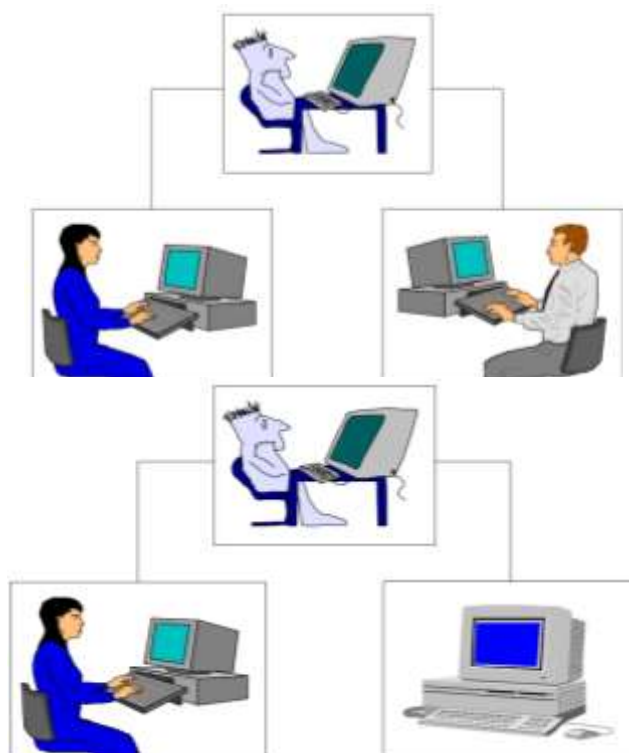
در یک تعریف مجمل، هوش قدرت فهم، تفکر، یادگیری، تصمیم‌سازی و در نهایت عملکرد صحیح می‌دهد. این تعریف بسته به نوع کاربرد تفسیرهای متفاوت به همراه دارد. در یک برداشت ساده، هرگاه یک ابزار به نوعی طراحی شود که در هر موقعیت به طور صحیح عمل کند، می‌توان گفت هوشمند است. در یک برداشت پیشرو، ابزاری که قدرت تفکر، یادگیری و تصمیم‌سازی صحیح داشته در موقعیت‌های متفاوت به درستی عمل کند، هوشمند است. لذا باید سطح توقع از مفهوم هوشمند به درستی تعریف شود. شکل زیر چهار سطح هوشمندی متفاوت را به تصویر می‌کشد.

جدول ۲. مراتب هوش.

عملکرد مشابه انسان	Human acting	تفکر مشابه انسانی	Human thinking
عملکرد صحیح	Rationally acting	تفکر و فهم صحیح	Rationally thinking

سطح هوشمندی اکثر ادوات هوشمند امروزی در حد "عملکرد صحیح" می‌باشد و هدف از پژوهش‌های هوش محاسباتی، ارتقاء آنها و نیل به حد "تفکر و فهم صحیح و عملکرد قابل قبول" است. درجه بندی و اندازه‌گیری سطح هوشمندی مصنوعات

بشری همواره یکی از زمینه‌های تحقیق بوده و مطالعات بسیاری تاکنون صورت گرفته است. یکی از اولین مطالعات در این زمینه توسط دانشمند و ریاضیدان انگلیسی، آلن تئورینگ^۱ صورت گرفته است. او که به عنوان یکی از پایه گذاران مطالعات رمزگذاری^۲ شناخته می‌شود، آزمایشی را برای درجه بندی و اندازه گذاری سطح هوشمندی یک عامل هوشمند ارائه داد 0. در این آزمایش یک بازجو در یک فرایند بازجوئی و یا پرسش و پاسخ از یک مرد و یک زن به دنبال تشخیص جنسیت آنها می‌باشد. در این بازجوئی مرد به دنبال فریب دادن بازجو است، لذا پاسخ‌های مرد نا صحیح و گمراه کننده و پاسخ‌های زن صحیح و مبتنی بر واقعیت می‌باشد. بازجو باید با طرح سئوالات مناسب به هدف خود که همان تشخیص فرد راستگو و دروغگو یا همان مرد و زن است، برسد. تئورینگ با قرار دادن یک عامل هوشمند به جای مرد و یا زن در این آزمایش به دنبال درجه بندی سطح هوشمندی آن عامل می‌باشد. هرچه زمان بازجوئی طولانی تر و فرایند بازجوئی پیچیده تر باشد نشان از هوشمندی عامل مورد نظر می‌باشد. البته این آزمایش هیچگاه به صورت آرمانی پیاده سازی و عملیاتی نشده است، اما یک افقی از انتظار ما از یک عامل هوشمند را تصویر می‌کند 0.



شکل ۲. شمائی از آزمون تنورینگ برای تشخیص درجه هوشمندی.

۳. تاریخچه

از اواسط دهه سی میلادی که ایده اولیه هوش محاسباتی مطرح گردید، فعالیت‌های مطالعاتی و تحقیقی بسیار گسترده‌ای در مجامع علمی و فن آوری برای تنوریزه نمودن و پیاده سازی هوش محاسباتی در مصنوعات بشری صورت پذیرفته است. که البته این فعالیت ها در طول زمان با افت و خیزهای نیز همراه بوده است. بعد از نظریه پردازی اولیه الن تنورینگ در ۱۹۳۴ که به عنوان پدر این علم نیز بعضا معرفی می‌شود، یکی از اولین کارها مربوط به وارن مک کلود و والتر پیت^۱ در ۱۹۴۳ می‌باشد که مدل ریاضی از شبکه عصبی و قدرت یادگیری آن ارائه نمودند^۲. جان ون نیومن^۲ با ساخت یک محاسبه گر هوشمند در ۱۹۵۱ اولین ابزار هوشمند را به جهان معرفی نمود. فرانک

1. Warren McCulloch and Walter Pitts
2. John von Neumann

روزنبلات^۱ تئوری همگرایی را برای مدل پرسپترون^۲ در ۱۹۵۷ ارائه نمود و پروفیسور لطفی زاده منطق فازی را در سال ۱۹۶۵ ارائه داد و نظریه محاسبات تکاملی^۳ برای اولین بار در دهه هفتاد مطرح گردید شد ۰.

این موارد تنها نمونه‌های از حجم گسترده تحقیقات علمی است که در دهه‌های پنجاه تا هفتاد میلادی به منظور رسیدن به روش‌های هوش محاسباتی و ساخت ابزارهای هوشمند که در کنار انسان و یا به جای انسان ایفاء نقش کنند، اختصاص یافت. نتایج اغلب تحقیقات این دوره منتهی به مقالات و گزارش‌های حجیمی گردید که انتظارات سرمایه‌گذارها و تامین‌کننده‌های مالی آنها را نمی‌داد، لذا در یک دوره فطرت شاهد کاهش سرمایه‌گذاری و نتیجتاً کاهش پژوهش‌ها در یک دوره زمانی می‌باشیم. دلیل اصلی ناامیدی سرمایه‌گذاران عدم امکان ساخت ابزارهای قابل استفاده از این دستاوردها بود ۰.

در اواخر دهه هشتاد با تولد میکروپروسسور^۴ و توسعه صنعت الکترونیک که بستر انجام محاسبات گسترده و سریع را در مدارات مجتمع^۵ به دنبال داشت، باز نظرها به استفاده از هوش محاسباتی و به خدمت گرفتن آن در ساخت ادوات معطوف گردید. دور جدید سرمایه‌گذاری با هدف ساخت ادوات هوشمند از تجهیزات نظامی، صنعتی تا پزشکی و خانگی شکل گرفت و به مسابقه‌ای سود آور تبدیل شد که تا امروز و البته در شکل جدید فن اوری اطلاعات ادامه دارد.

عناوین برخی از دستاوردهای مطالعات هوش محاسباتی در جدول ۳ آورده شده است. این عناوین علیرغم کارهای بسیار زیاد و نتایج مهم و موفق، هر یک هنوز موضوعات مطرح در تحقیقات امروزی چه از جنبه‌های بنیادین و چه از جنبه‌های کاربردی می‌باشند.

1. Frank Rosenblatt

2. Perceptron

3. Evolutionary Computation

4. Microprocessor

5. Integrated circuits

جدول ۳. فهرستی از سامانه‌های مبتنی بر هوش محاسباتی.

فهرستی از سامانه‌های مبتنی بر هوش محاسباتی	
Fuzzy Inference System	سامانه استنتاج فازی
Artificial Neural Networks	شبکه‌های عصبی مصنوعی
Genetic Algorithm : Evolutionary Computation	محاسبات تکاملی
Hybrid: Neuro-Fuzzy	سامانه‌های ترکیبی: شبکه عصبی - فازی
Expert System	سامانه خبره
Uncertainty Management	سامانه مدیریت عدم قطعیت
Machine Learning	یادگیری ماشین
Rule Extraction	انتزاع قوانین
Agent based Computation	محاسبات مبنی بر عامل‌های هوشمند
Human Machine Interaction	تعامل انسان و ماشین
Knowledge engineering	مدیریت دانش
Data Mining	داده کاوی
Logic Reasoning & Planning	استدلال منطقی و برنامه ریزی

۴. کاربرد هوش محاسباتی

چنانچه قبلاً اشاره شد، موج جدید مطالعات هوش محاسباتی پس از کاربردی شدن آنها در دهه هشتاد و نود میلادی رخ داد. هوش محاسباتی به سرعت در عرصه‌های مختلف زندگی بشری جایگاه خود را پیدا کرد و محصولات متنوع در زمینه‌های نظامی، صنعتی، پزشکی و خانگی عرضه شد. امروزه روش‌های هوش محاسباتی در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در یک ارزیابی کلی، زمینه‌های کاربردی برای هوش محاسباتی در یکی از هفت گروه زیر قابل دسته بندی هستند.

- تشخیص^۱ و شناسایی^۲ یک پدیده با استفاده از علائم و شواهد مرتبط که اغلب یا رابطه مشخص و دقیقی وجود ندارد و یا نوع ارتباط آنها وابسته به شرایط بود و تغییر پذیر است. هوش محاسباتی با استفاده از پایگاه دانش^۳ و سامانه‌های خبره^۴

1 Diagnose
2 Detection
3 Knowledge base
4 Expert system

این فرایند را انجام می‌دهد. شواهد و علائم مورد نیاز برای تشخیص معمولاً به صورت داده‌های خام^۱ و یا پیش پردازش شده^۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سیستم‌های صنعتی با استفاده از داده حسگرها و نیز تشخیص بیماری با کمک علائم و شواهد بالینی به دست آمده از بیمار دو نمونه کاربرد هوش محاسباتی در سیستم‌های صنعتی و پزشکی است.

- طبقه بندی^۳ نمونه‌ها در طبقات از پیش تعریف شده به روش یادگیری و انتزاع از نمونه‌های که قبلاً طبقه بندی شده اند، یکی دیگر از کاربردهای رایج روش‌های هوش محاسباتی است. در طبقه بندی، ویژگی‌های^۴ مناسب باید از داده‌های خام انتخاب و استخراج شود. تشخیص الگوهای حرکتی اندام انسان همچون دست با استفاده از سیگنال‌های زیستی جمع آوری شده از عضلات مرتبط، از جمله این کاربردها می‌باشد.
- انتخاب^۵ مناسب از مجموعه گزینه‌های موجود به طوری که تابع ارزش را بهینه نماید. انتخاب مجموعه ویژگی^۶ بهینه برای طبقه بندی یکی از کاربردهای رایج در هوش محاسباتی است.
- پیش بینی^۷ سری‌های زمانی با استفاده از نمونه‌های قبلی و یادگیری دینامیک حاکم بر تغییرات از کاربردهای متداول هوش محاسباتی است. پیش بینی تغییرات اندیس‌ها و قیمت‌های مالی از جمله کاربرد هوش محاسباتی می‌باشد.
- دسته بندی^۸ نمونه‌ها که البته بدون داشتن طبقه بندی از پیش تعریف شده و تنها مبتنی بر شباهت‌های نمونه‌ها با یکدیگر، از دیگر کاربردهای هوش محاسباتی می‌باشد. دسته بندی ساختار کروموزوم‌ها در مجموعه ژن‌ها و ارتباط آنها با صفات آدمی از جمله کاربردهای هوش محاسباتی می‌باشد.
- بهینه سازی^۹ یکی از کاربردهای هوش محاسباتی است. برای مثال کاربرد الگوریتم ژنتیک برای یافتن نقطه بیشینه و یا کمینه یک تابع را نام برد.

1. Raw data
2. Pre-processed
3. Classification
4. Features
5. Selection
6. Feature selection
7. Prediction
8. Clustering
9. Optimizaiton

- کنترل فرایند با استفاده از پسخور در یک حلقه بسته برای حداقل نمودن معیار خطا یکی دیگر از کاربردهای هوش محاسباتی است.

۵. سامانه استنتاج فازی^۱

چنانچه در جدول ۱ نشان داده شده است، یکی از فرایندهای ذهن آدمی استنتاج می‌باشد و هوش محاسباتی درصدد شبیه سازی آن است. استنتاج در یک سیستم خبره با تطابق دادن یک و یا چند مشاهده و واقعیت^۲ با مجموعه قوانین موجود در پایگاه دانش صورت می‌پذیرد و در خروجی آن یک واقعیت جدید اثبات و یا زاده می‌شود. اما علیرغم هوشمندی موجود در سیستم خبره، مشکل بیان واقعیت ها و قوانین روزمره بشری در قالب یک زبان محاوره و نسبی، به دور از بسط و اطلاق متداول در فلسفه و ریاضیات، کماکان باقی است. منطق فازی راهی برای بیان واقعیت ها و قوانین به شکل محاوره بشری^۳ و با استفاده از صفات و افعال نسبی فراهم می‌نماید.

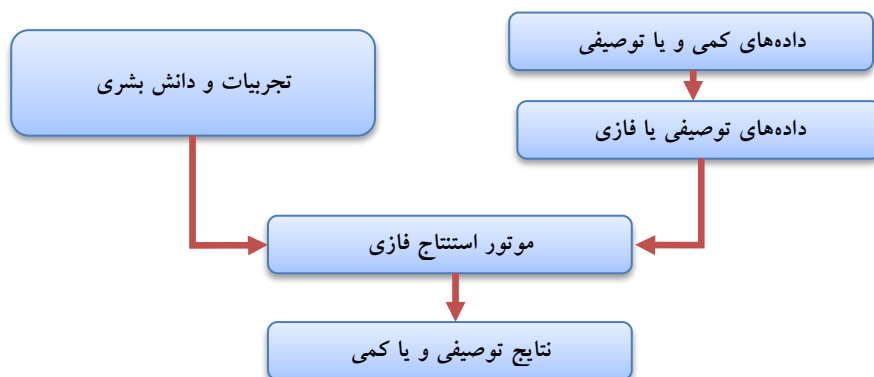
سامانه استنتاج فازی یک شکل تعمیم یافته سیستم‌های خبره مبتنی بر قوانین شرطی است که قابلیت مدیریت مفاهیم توصیفی و داده‌های غیر قطعی را دارد. منطق فازی با ارائه تعریف ریاضی و کمی برای مفاهیم توصیفی، مبهم و غیر قطعی که در محاوره، درک و استنتاج‌های بشری بسیار متداول است، امکان کاربرد یافته‌های بشری که عموماً در قالب مفاهیم محاوره ای بیان می‌شوند را در سیستم‌های محاسباتی فراهم می‌کند. ساختار سامانه استنتاج فازی در شکل ۳ نشان داده شده است.

چنانچه در ساختار نمایش داده شده است، از یک سو مجموعه تجربیات و آموخته ها در قالب عبارات شرطی - فازی در یک پایگاه دانش ذخیره شده است و در سوی دیگر مشاهدات و یا واقعیت درک شده به صورت عبارتهای فازی به یک موتور استنتاج ارائه شده و نتیجه به صورت یک عبارت فازی حاصل می‌شود. پایگاه دانش یک حافظه دراز مدت از واقعیات ها و قوانین است در حالیکه مشاهدات حافظه کوتاه مدت و آنی از واقعیتهای درک شده است. جزئیات بیشتر در مورد این ساختار در سامانه‌های خبره مطرح شده است 0.

1. Fuzzy inference system (FIS)

2. Fact

3. Natural language



شکل ۳. ساختار سامانه استنتاج فازی

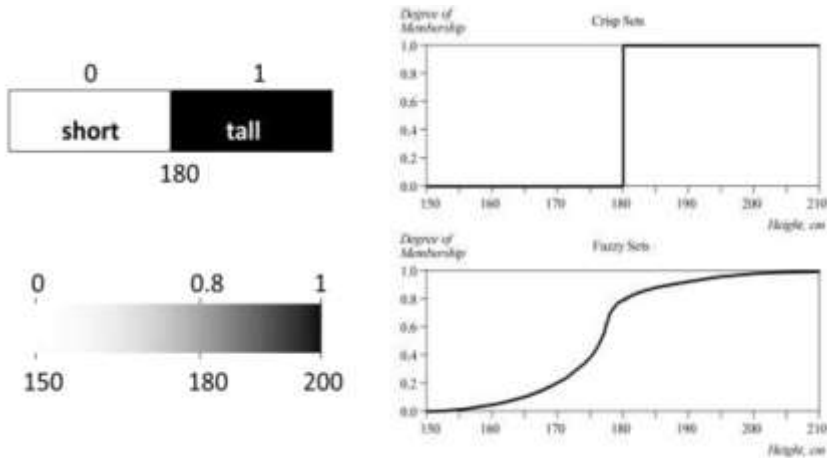
منطق فازی^۱ در سال ۱۹۶۵ میلادی توسط پرفسور لطفی زاده به شکل شناخته شده امروزی برای اولین بار ارائه گردید. در یک بیان مجمل، تمایز اصلی منطق فازی با منطق عرفی ریاضی در نحوه عضویت یک عنصر در یک مجموعه است. برخلاف منطق ریاضی که یک عنصر می‌تواند فقط عضو یک مجموعه باشد و یا نباشد، در منطق فازی درجه عضویت^۲ برای عناصر فازی اطلاق می‌شود. درجه عضویت برای یک متغیر فازی عددی است از صفر تا یک که توسط تابع عضویت^۳ مشخص می‌شود. این تابع، درجه عضویت متغیر را به یک مجموعه فازی به ازاء مقادیر تعریف شده از دامنه متغیر^۴ مشخص می‌کند. برای مثال، اندازه قد یک فرد یک متغیر فازی است. این فرد (اندازه قد او) می‌تواند متعلق به مجموعه افراد بلند قد باشد و یا نباشد و یا تا حدی باشد. در شکل ۴، متغیر قد به دو صورت منطق عرفی ریاضی و فازی نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود منطق فازی امکان لحاظ ناحیه خاکستری (درجه عضویت بین صفر و یک) بین دو حالت تعلق کامل (درجه عضویت یک) و عدم تعلق کامل (درجه عضویت صفر) را در محاسبات میسر می‌کند.

منطق فازی ابزاری برای بیان عبارات‌های محاوره‌ای فراهم می‌نماید. این عبارات می‌تواند بیان یک واقعیت و یا یک قانون باشد. مثلاً عبارت "احمد بلند قد است" یک عبارت از نوع مشاهده و واقعیت است که به صورت محاوره‌ای بیان شده است. احمد

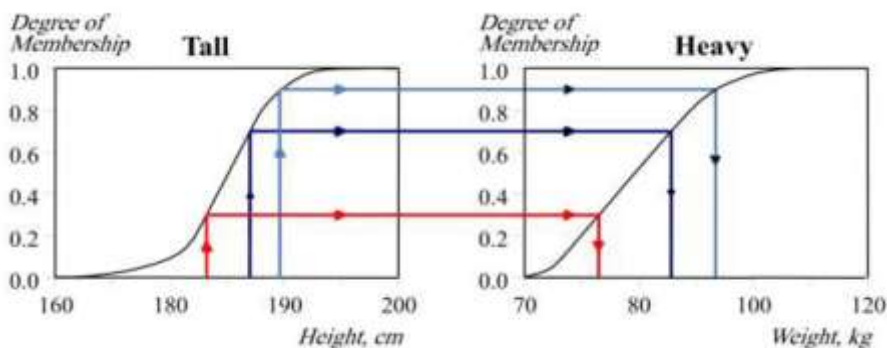
1. Fuzzy logic
2. Degree of membership
3. Membership function
4. Universe of discourse

با یک قد مشخص، یک عنصر از متغیر قد را مشخص می‌کند که درجه عضویت آن در مجموعه فازی بلند قدها با کمک تابع عضویت قابل محاسبه است. در مثال دیگر، عبارت "افراد بلند قد، سنگین وزن می‌باشند" نیز یک قانون را به صورت محاوره‌ای بیان می‌کند. این قانون در شکل شرطی به صورت "اگر فردی بلند قد باشد پس سنگین وزن می‌باشد" قابل بیان است. در این عبارت شرطی - فازی، درجه عضویت دو متغیر فازی قد و وزن به ترتیب به دو مجموعه بلند و سنگین به صورت علت و معلول مرتبط شده است. ارتباط یک سویه، ایجاب می‌کند که درجه عضویت عبارت شرط به درجه عضویت عبارت نتیجه تحمیل می‌شود.

شکل ۵ این ارتباط یک سویه از شرط به نتیجه را نشان می‌دهد. به عبارتی دیگر، مفروض به درست بودن قانون شرطی مذکور و داشتن تعریف دقیق از بلند قدی و سنگین وزنی که بواسطه تابع عضویت حاصل می‌شود، از قد فرد می‌توان به وزن او پی برد.



شکل ۴. درجه عضویت برای یک متغیر فازی در یک مجموعه فازی



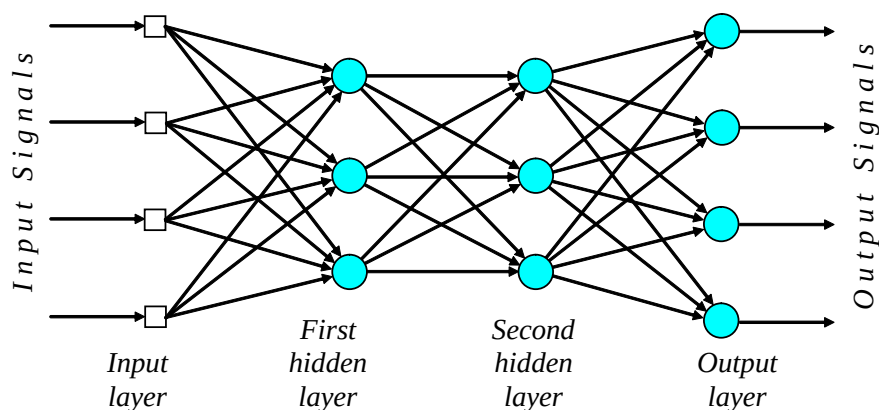
شکل ۵. در قانون فازی، درجه عضویت عبارت نتیجه از درجه عضویت عبارت شرط بدست می‌آید.

۶. شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱

ساختار و نحوه کارکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی، از ساختار و نحوه عمل سیستم اعصاب و مغز انسان الگو گرفته است. ایده اولیه این شبکه‌ها در دهه ۴۰ میلادی برای اولین بار مطرح شده و در دهه ۸۰ تکامل امروزی خود را یافت ۰۰. امروزه نرم افزارهای بسیار کامل و پیشرفته برای پیاده سازی و کاربرد شبکه عصبی توسعه داده شده است. برای نمونه، بسته نرم افزاری ویژه شبکه عصبی متلب^۲ مرجع کاملی از انواع شبکه‌های عصبی را ارائه می‌دهد ۰. مهمترین ویژگی شبکه عصبی قدرت یادگیری آن است. امکان انتزاع و یادگیری ارتباط‌های پیچیده ما بین مجموعه داده‌ها، به خاطر سپردن الگو داده‌ها و پردازش موازی اطلاعات دیگر ویژگی‌های شبکه عصبی می‌باشند. شکل ۶ یک ساختار از شبکه‌های عصبی مصنوعی را نمایش می‌دهد.

1 Artificial Neural Networks (ANN)

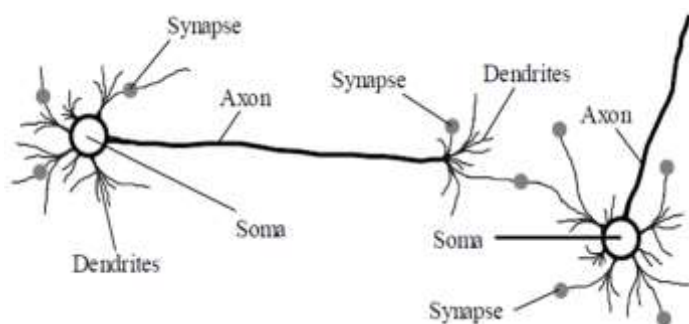
2 Neural Network Toolbox MATLAB



شکل ۶. ساختار یک شبکه عصبی چند لایه پیشخور دو بعدی

ساختار شبکه عصبی (شکل ۶) یک مکانیزم محاسباتی متشکل از تعدادی واحدهای ساده محاسباتی است که به صورت شبکه به هم متصل هستند و به صورت موازی عمل می‌کنند. واحد محاسباتی ساده پرسپترون^۱ نامیده می‌شود و عملکرد آن شبیه عملکرد یک نرون^۲ است. نرون یک سلول زیستی ساده در سیستم اعصاب می‌باشد که در شبکه ای به هم تنیده سیستم عصبی موجودات زنده را شکل می‌دهد. نرون یک سلول متشکل از هسته^۳، یک شاخک خروجی^۴، تعدادی شاخک‌های ورودی^۵ و نقطه اتصال^۶ آنها به شاخک خروجی دیگر نرون ها است. پرسپترون به واقع یک مدل ریاضی از یک نرون است. شکل ۷ ساختار و اجزاء نرون و شکل ۸ ساختار یک پرسپترون و مدل ریاضی آن را نمایش می‌دهد.

-
1. Perceptron
 2. Neuron
 3. Cell body or Soma
 4. Axon
 5. Dendrites
 6. Synapse

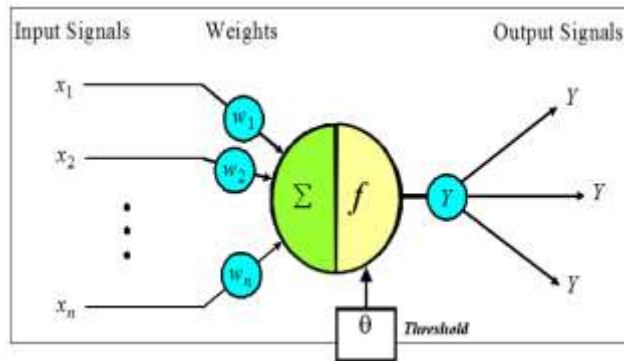


شکل ۷. نرون یک سلول زیستی ساده در سیستم اعصاب است.

در یک سیستم عصبی زیستی، اطلاعات و فرامین به صورت سیگنال‌های الکتریکی در یک شبکه سه بعدی^۱ به هم تنیده از نرون‌ها به صورت موازی از ارسال‌کننده به دریافت‌کننده منتقل می‌شود. هر نرون با دریافت سیگنال توسط شاخک‌های ورودی خود پس از تعدیل و تجمیع آنها، سیگنال خروجی را تولید و در شاخک خروجی به دیگر نرون‌ها منتقل می‌کند. در یک شبکه عصبی مصنوعی نیز، اطلاعات عددی در ورودی‌های پرسپترون دریافت و پس از تجمیع وزنی، مقایسه با حد آستانه، خروجی تابع فعالیت^۲ محاسبه و به صورت خروجی پرسپترون به دیگر پرسپترون‌ها منتقل می‌شود. در جدول ۴ مقایسه اجزاء اصلی سلول زیستی نرون و مدل ریاضی پرسپترون به صورت نظیر به نظیر نمایش داده شده است.

در سیستم عصبی انسان حدود ده بیلیون نرون وجود دارد که به صورت متوسط هر نرون به ده هزار نرون دیگر متصل است. سرعت پردازش در نرون‌های زیستی حدود KHz است در حالی که سیستم‌های پردازش الکترونیکی حدود GHZ است، با این همه به دلیل مزیت پردازش موازی سه بعدی واقعی، سرعت سیستم‌های زیستی بسیار زیاد است ۰.

1. Three dimension
2. Activity function



$$Y = f(\sum w_i x_i - \theta)$$

شکل ۸. ساختار یک پرسپترون و مدل ریاضی آن

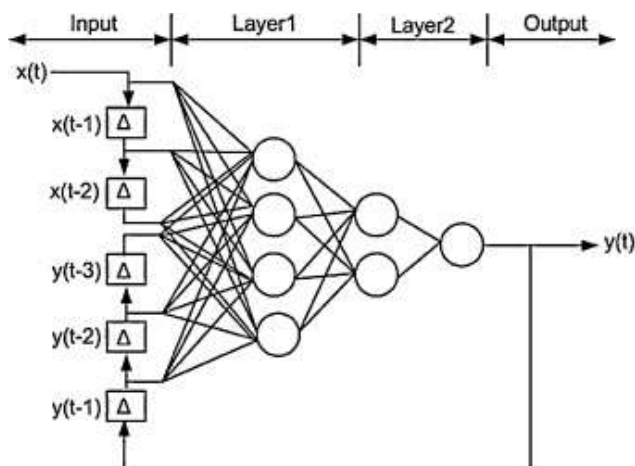
Biological Neural Network	Artificial Neural Network
Cell body – هسته	تابع فعالیت پرسپترون Activity Function
Dendrite – شاخک ورودی	ورودی Input
Axon – شاخک خروجی	خروجی Output
Synapse – نقطه تماس ورودی و خروجی	ضریب وزنی Weight

جدول ۴. مقایسه اجزاء اصلی نرون و پرسپترون به صورت نظیر به نظیر

یکی از ساختارهای شناخته شده که بیشتر مورد توجه پژوهشگران در کاربرد شبکه عصبی بوده، شبکه عصبی چند لایه پرسپترون^۱ است. در این شبکه پرسپترون ها در لایه‌های مجزا قرار گرفته و فقط به پرسپترون‌های لایه قبلی و بعدی خود متصل می‌باشند. لایه اول ورودی، لایه آخر خروجی و لایه‌های میانی پنهان^۲ نامیده می‌شوند. شبکه چند لایه پرسپترون به دو صورت پیشخور^۳ و پسخور می‌تواند وجود داشته باشد. در نوع پیشخور مسیر حرکت داده ها صرفا از لایه ورودی به سمت لایه خروجی است، اما در نوع پسخور امکان اتصال خروجی پرسپترون‌های یک لایه به ورودی پرسپترون‌های لایه قبلی نیز وجود دارد. یک نوع خاص از شبکه چند لایه پرسپترون پیشخور، شبکه عصبی چند لایه با تاخیر زمانی^۴ است، که ساختار آن در شکل ۹ نمایش

1. Multi layer perceptron (MLP)
 2. Hidden layer
 3. Feed-forward
 4. Time-delay neural networks (TDNN)

نمایش داده شده است. اغلب این شبکه برای اعمال فیلتر و یا پیش بینی سری‌های زمانی به کار برده می‌شود 0.



شکل ۹. ساختار یک شبکه عصبی تاخیر زمانی 0

از مشخصه‌های مهم هوش موجودات زنده و به صورت خاص انسان، قدرت یادگیری، انتزاع رابطه بین پدیده‌ها، به خاطر سپردن آنها و تطبیق با تغییر شرایط محیطی است. انسان از مشاهدات خود می‌آموزد، تجربه کسب می‌کند و در صورت نیاز با تغییر شرایط تطبیق پیدا می‌کند. شبکه عصبی مصنوعی با اتکاء به شباهت ساختاری خود به سامانه‌های عصبی زیستی، امکان شبیه سازی این ویژگی‌های منحصر به موجودات زنده را دارد. قدرت یادگیری و انتزاع رابطه بین داده‌ها از ویژگی‌های مهم شبکه‌های عصبی است که می‌تواند به منظور شبیه سازی عملکرد هوش موجودات زنده و به صورت خاص انسان به خدمت گرفته شود. در بخش‌های بعدی پس از مقدمه ای مجمل بر مبانی یادگیری ماشین، به توضیح نحوه کار شبکه عصبی و فرایند یادگیری آن می‌پردازیم.

۷. یادگیری ماشین^۱

هر تغییری در یک سامانه که منجر به عملکرد بهتر آن در تکرار آتی شود بخشی از

فرایند یادگیری آن سامانه تلقی می‌شود. سه رویکرد اصلی یادگیری برای سامانه‌های هوشمند عبارتند از: یادگیری با الگو^۱، یادگیری بدون الگو^۲ و بازآموزی^۳. در نوع اول، همواره یک الگو^۴ وجود دارد که به سامانه نشان می‌دهد چگونه عمل نماید. برای یک سامانه با ساختار ورودی و خروجی^۵، الگو یک زوج مرتب ورودی و خروجی صحیح می‌باشد. فرایند یادگیری به سامانه می‌آموزد که کدام خروجی مناسب ورودی مشخص است. برای مثال، حرکت یک خودرو نتیجه خروجی سامانه کنترل خودرو است که توسط فرمان هدایت راننده که ورودی این سامانه می‌باشد، تولید می‌شود. فرایند یادگیری به سامانه کنترل خودرو می‌آموزد که با دریافت هر فرمان ورودی مشخص چه خروجی را تولید و به خودرو ارسال کند.

در یادگیری بدون الگو، یک سامانه با تجزیه و تحلیل داده‌ها و مشاهدات خود تصمیم می‌گیرد چگونه عمل کند. در این رویکرد الگوی خاصی که سامانه آن را دنبال کند وجود ندارد و صرفاً با روش‌های مانند دسته‌بندی^۶، سامانه تشخیص می‌دهد رفتاری متناسب با هر دسته از داده‌ها داشته باشد. در رویکرد بازآموزی، الگوی برای یادگیری وجود ندارد اما فرایند یادگیری از معیارها و یا تخمین‌های کمکی^۷ استفاده می‌کند تا به سامانه بیاموزد که چگونه عمل کند تا نهایتاً معیار و یا تخمین مورد نظر به مقدار دلخواه نزدیکتر شود.

تشابه دو رویکرد آموزش با الگو و بازآموزی در این است که هر دو از یک معیار بیرون از سامانه برای فرایند یادگیری استفاده می‌کنند. در اولی الگوهای از پیش تعریف شده برای آموزش استفاده می‌شود و در دومی معیارهای تحقیقی و یا تخمینی ناشی از عملکرد سامانه برای این منظور استفاده می‌شود. تفاوت مهم این دو در ترتیب زمانی تاثیر فرایند آموزش بر سامانه است. در رویکرد آموزش با الگو، الگوها از پیش از عملکرد سامانه مشخص می‌باشند اما در رویکرد بازآموزی، معیار مورد نظر پس از عملکرد سامانه محاسبه می‌شود.

یادگیری با الگو کاربرد بسیار وسیعی در شبکه‌ها عصبی دارد. رویکرد یادگیری با الگو

1. Supervised learning
 2. Unsupervised learning
 3. Reinforcement learning
 4. Pattern
 5. Input-Output structure
 6. Clustering
 7. Auxiliary

در شبکه‌های عصبی، این امکان را فراهم می‌کند که رفتار یک پدیده را علیرغم عدم شناخت از ساختار درونی آن، و صرفاً با اتکاء به داده‌های ورودی و خروجی آن پدیده، مدل‌سازی و سپس شبیه‌سازی نمود. مدل تولید شده یک شبکه عصبی است که خروجی آن، خروجی متناظر پدیده مورد نظر را در دامنه داده‌های ورودی تقریب می‌نماید. برای مثال، با استفاده از شبکه عصبی می‌توان عملکرد بازار سهام و تغییرات معیارهای آن را با توجه به عوامل تاثیرگذار مدل‌سازی نمود. در این رویکرد، بدون در نظر گرفتن مبانی نظری و ساختارهای ریاضی درونی، مجموعه‌ای از داده‌های مرتبط با آن پدیده را در قالب زوج مرتب‌های ورودی و خروجی جمع‌آوری (یا نمونه برداری) نموده و ثبت می‌نمائیم. بدیهی است در این نمونه برداری داده‌های ورودی، عوامل مستقل تاثیر گذار و داده‌های خروجی، معیارهای متأثر از آنها می‌باشند. برای نیل به کیفیت خوبی در آموزش، مجموعه داده‌های ثبت شده باید به اندازه کافی جامع و مانع^۱ باشند. جامع به این معنی است که نمونه‌ها به اندازه کافی نشان دهنده حالت‌های مختلف آن پدیده باشند و مانع به معنی این است که حداقل امکان نمونه‌ها تکراری و یا معیوب نباشند. تهیه و جمع‌آوری داده‌ها از پدیده مورد مطالعه، یکی از چالش‌های اصلی در فرایند مدل‌سازی آن پدیده می‌باشد. داده‌ها باید به تعداد کافی باشند تا بتوان از آنها در فرایند یادگیری و همچنین آزمون شبکه عصبی استفاده نمود. اغلب داده‌های جمع‌آوری شده، در دو گروه مجموعه داده‌های آموزشی^۲ و مجموعه داده‌های آزمون^۳، در فرایند یادگیری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۸. یادگیری در شبکه عصبی

رویکرد یادگیری در شبکه‌های عصبی مبتنی بر آموزش با الگو است. در این رویکرد چنانچه اشاره شد، مجموعه‌ای از زوج مرتب‌های ورودی و خروجی، به عنوان الگو برای یادگیری استفاده می‌شوند. مجموعه داده‌های آموزشی، متشکل از P نمونه از ورودی‌ها و خروجی‌های دلخواه^۴ در فضای به ترتیب n و m بعدی، نظیر به نظیر زوج مرتب‌های (X_i, T_i) می‌باشند.

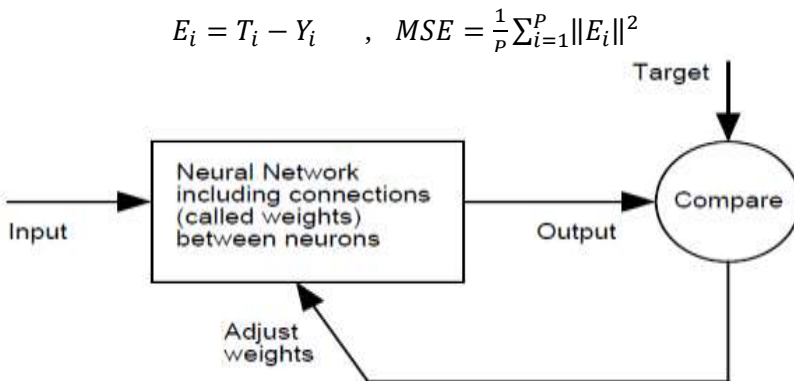
$$\forall (X_i, T_i) \quad , \quad X_i \in \mathbb{R}^n \quad , \quad T_i \in \mathbb{R}^m$$

1. Comprehensive, no erroneous and no redundant
 2. Training data set
 3. Test data set
 4. Target

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_p] \quad , \quad T = [T_1, T_2, \dots, T_p]$$

$$X_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]^T \quad , \quad T_i = [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{im}]^T$$

شکل ۱۰ فرایند یادگیری در شبکه عصبی چند لایه پرسپترون را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. در فرایند یادگیری، خروجی شبکه عصبی (Y_i) با Z_i (بازاء ورودی مشخص X_i) محاسبه شده و با خروجی دلخواه (T_i) مقایسه می‌شود و خطای خروجی (E_i) که حاصل تفاضل خروجی واقعی^۱ و خروجی دلخواه است محاسبه می‌شود. خطای خروجی با استفاده از روش کلاسیک عددی گرادیان^۲ جهت تغییر و تنظیم ضرایب وزنی^۳ شبکه با هدف حداقل نمودن متوسط مربعات خطای^۴ داده‌های آموزشی به کار می‌رود.



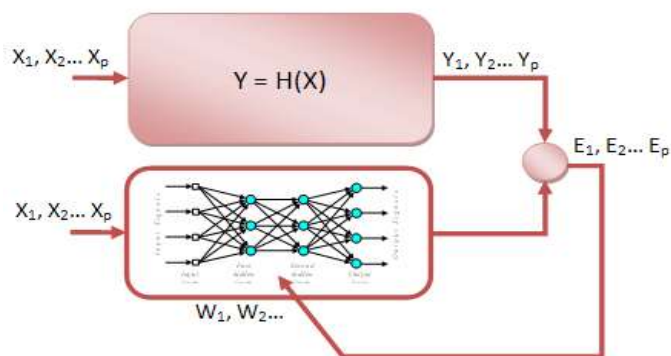
شکل ۱۰. فرایند یادگیری شبکه عصبی مصنوعی

از آنجا که یادگیری با الگو صرفاً از داده‌های ورودی و خروجی یک سامانه استفاده می‌کند، با وجود عدم شناخت ساختاری، این امکان وجود دارد که این سامانه مورد مطالعه را با کمک مدلی مبتنی بر شبکه عصبی مدل سازی نمود. البته اعتبار این درستی فقط در محدوده مقادیر داده‌های ورودی و خروجی است. در کتب مرجع اثبات شده است که هر سامانه خطی و یا غیرخطی را می‌توان با انتخاب صحیح ساختار شبکه عصبی (تعداد مناسب لایه‌ها و پرسپترون‌ها و تابع فعالیت مناسب) مدل سازی کرده و رفتار ورودی و خروجی آن را شبیه سازی نمود^۵. لذا انتخاب ساختار^۵ مناسب برای

1. Actual output
2. Gradient descent
3. Weights
4. Mean squared error (MSE)
5. Configuration

شبکه عصبی نقش کلیدی در طراحی شبکه عصبی و شبیه سازی فرایند مورد نظر را دارد. تعداد لایه ها و پرسپترون ها در شبکه عصبی مستقیماً مرتبط با میزان پیچیدگی رابطه داده های ورودی و خروجی است. برای مثال، یک پرسپترون به تنهایی قدرت تفکیک داده های خطی در فضای دو بعدی را دارد. افزایش ابعاد فضای داده ها و غیر خطی شدن آنها تعداد بیشتر پرسپترون را ایجاب می کند. انتخاب ساختار مناسب برای شبکه همواره یک چالش در فرایند طراحی شبکه عصبی است، که اغلب به صورت آزمون و خطا حاصل می شود. البته برخی شبکه ها قدرت تطبیق ساختار و تنظیم تعداد پرسپترون ها را طول فرایند یادگیری دارند، که این نوع شبکه ها تطبیق دهنده^۱ نامیده می شوند 0.

شکل ۱۱ نمای شماتیکی از مدل سازی یک فرایند با کمک یک شبکه عصبی چند لایه و رویکرد یادگیری با الگو را نشان می دهد. چنانچه قبلاً نیز اشاره شد از فرایند مورد نظر فقط نمونه داده های ورودی و خروجی آن در اختیار می باشد و مقدار خطای خروجی به عنوان معیاری برای تنظیم ضرایب وزنی شبکه عصبی استفاده می شود. طبیعتاً هدف از مدلسازی این است که پس از پایان مرحله آموزش، خطای خروجی از حد آستانه کمتر شده و شبکه همواره قابلیت تولید خروجی مشابه خروجی فرایند را به ازاء ورودی یکسان داشته باشد.



شکل ۱۱. نمای شماتیک از مدل سازی یک فرایند با کمک شبکه های عصبی و رویکرد یادگیری با الگو

در این نوع مدلسازی، رفتار فرایند تنها از جنبه ورودی و خروجی مورد بررسی و

مطالعه قرار می‌گیرد و با ساختار درونی آن ارتباطی ندارد. بدیهی است که مدل سازی و تقریب رفتار ورودی و خروجی نباید فقط محدود به داده‌های آموزشی باشد، بلکه شبکه باید بتواند بازاء تمام مقادیر تعریف شده برای ورودی، فرایند را شبیه سازی کند. در مباحث هوش محاسباتی و شبکه‌های عصبی، این موضوع به عنوان میزان تعمیم پذیری^۱ شبکه شناخته می‌شود. به همین دلیل عملکرد شبکه عصبی با داده‌های غیر از داده‌های آموزشی، مورد تست و آزمایش قرار می‌گیرد. مجموعه داده‌های آزمون، نمونه زوج مرتبی همانند داده‌های آموزشی هستند که در فرایند یادگیری مورد استفاده قرار نگرفته اند. لذا در فرایند آزمون، خروجی شبکه با خروجی فرایند به ازاء مجموعه داده‌های آزمون مورد مقایسه قرار گرفته و در یک مدل موفق خطای خروجی باید کمتر از حد تعریف شده باشد.

۹. جمع بندی

هوش محاسباتی مجموعه ای از روش‌های محاسباتی الهام گرفته از نمونه‌های طبیعی و زیستی است که برای حل مسائل با مدل‌های پیچیده ای که روش‌های سنتی در آنها ناکارآمد و یا ناممکن هستند به کار می‌رود. این مقاله ابتدا با مطالعه مشخصه‌های هوش انسانی تعریفی از هوش محاسباتی، تاریخچه و ویژگی‌های آن را ارائه داده و سپس به معرفی سامانه استنتاج فازی و ماشین یادگیری مبتنی بر شبکه‌های عصبی می‌پردازد. سامانه استنتاج فازی یک شکل تعمیم یافته سیستم‌های خبره مبتنی بر قوانین شرطی است که قابلیت مدیریت مفاهیم توصیفی و داده‌های غیر قطعی را دارد. ساختار و نحوه کارکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی، از ساختار و نحوه عمل سیستم اعصاب و مغز انسان الگو گرفته است. مهمترین ویژگی شبکه عصبی قدرت یادگیری آن است. امکان انتزاع و یادگیری ارتباط‌های پیچیده ما بین مجموعه داده ها، به خاطر سپردن الگو داده ها و پردازش موازی اطلاعات دیگر ویژگی‌های شبکه عصبی می‌باشند.

- David Poole, Alan Mackworth, Randy Goebel, "Computational Intelligence - *A Logical Approach*", Oxford University Press, New York, 1998.
http://en.wikipedia.org/wiki/Computational_intelligence
- Cooper, S. Barry; van Leeuwen, Jan (eds), Alan Turing – His Work and Impact, New York: Elsevier, 2013, ISBN 978-0-12-386980-7
http://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing
- Warren McCulloch and Walter Pitts, "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", 1943
- Buchanan, Bruce G. (Winter 2005), "A (Very) Brief History of Artificial Intelligence", AI Magazine: 53–60, retrieved 2007-08-30.
- Artificial intelligence: a guide to intelligent systems
 Michael Negnevitsky Edition: 2nd ed. Addison-Wesley, 2005.
- Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd/3rd Edition). By Stuart Russell and Peter Norvig.
- Fuzzy Logic Toolbox User's Guide (MATLAB)
 1995 - 1999 by The MathWorks, Inc.
- Neural Networks Toolbox User's Guide (MATLAB)
 1995 - 1999 by The MathWorks, Inc.
- Sawsan Mahmoud, Ahmad Lotfi, Caroline Langensiepen, Behavioural pattern identification and prediction in intelligent environments, Applied Soft Computing, Volume 13, Issue 4, April 2013, Pages 1813-1822, ISSN 1568-4946, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2012.12.012>.

