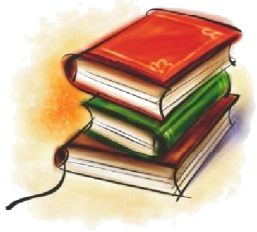


هوش مصنوعی پیشرفته

مبانی رایانش نرم

دانشگاه تهران - دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر
نیمسال اول 1397-1398



فهرست

- محاسبات (رایانش) نرم چیست؟
- رایانش نرم: ویژگی‌ها و کاربردها
- رایانش نرم: تاریخچه مختصر
- انواع رایانش نرم
 - محاسبات نرونی
 - محاسبات فازی
 - محاسبات زیستی

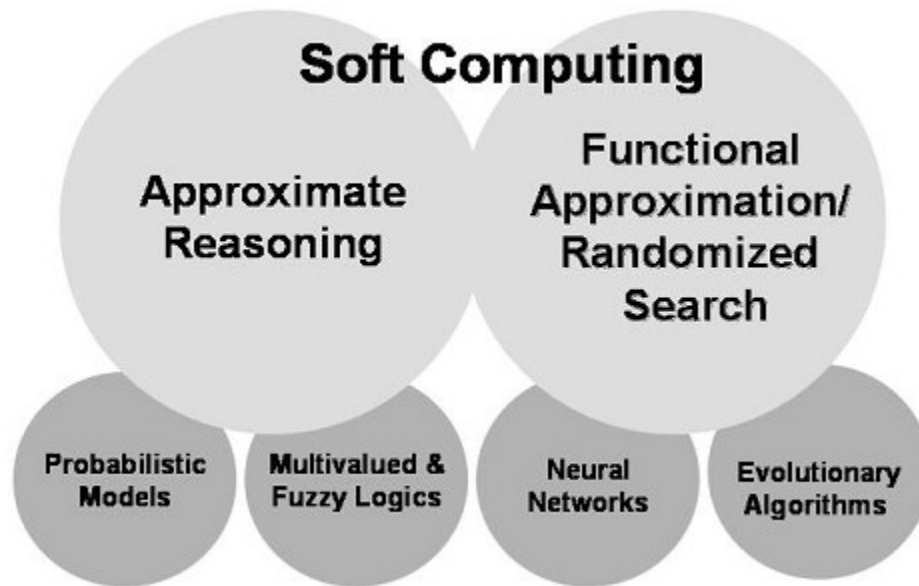


محاسبات (رایانش) نرم چیست؟ ...

○ تعریف "زاده" از رایانش نرم (Soft Computing)

• سیستمی چندرشته‌ای که ترکیبی از زمینه‌های زیر است:

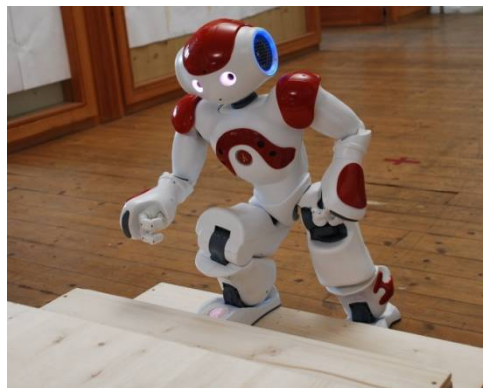
- منطق فازی (Fuzzy Logic)
- محاسبات نرونی (Neuro-Computing) = شبکه عصبی (Neural Network)
- محاسبات زیستی (Evolutionary) و ژنتیکی (Genetic)
- محاسبات احتمالاتی (Probabilistic Computing)



محاسبات (رایانش) نرم چیست؟ ...

○ رایانش نرم

- ترکیبی از روش‌ها برای مدل‌سازی و ارائه راه‌حل برای مسائل دنیای واقعی که نمی‌توانند (و یا به سختی می‌توانند) توسط روش‌های رایج ریاضی مدل شوند
- مدل‌سازی محوری در رایانش نرم = بر اساس مغز انسان
- مدل‌سازی تقریبی



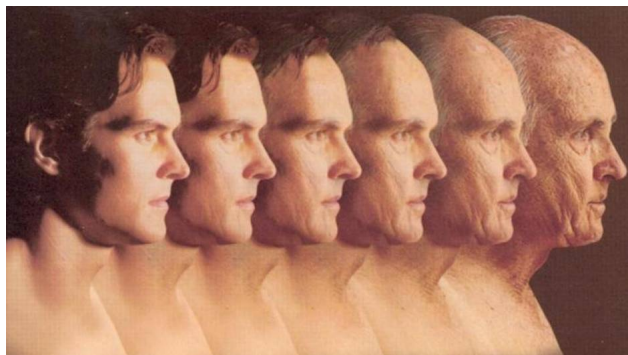
محاسبات (رایانش) نرم چیست؟ ...

○ رایانش نرم در مقابل رایانش سخت!

- رایانش سخت: روش‌های رایج ریاضیاتی
- دقیق و قطعی

○ آنچه از رایانش نرم حاصل می‌شود (ولی با رایانش سخت نمی‌شود)

- تحمل‌پذیری در مقابل عدم دقت (Imprecision)
- وجود عدم قطعیت (Uncertainty)
- استدلال تقریبی (Approximation)



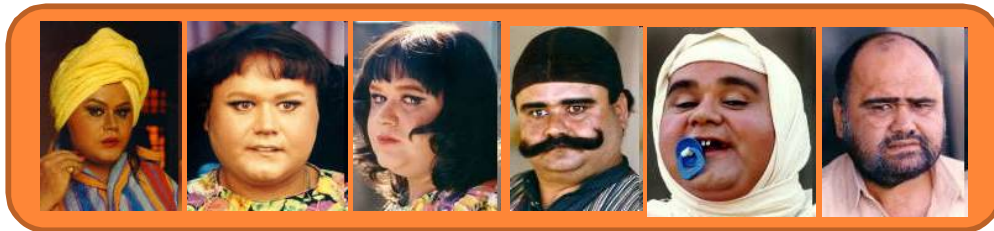
○ مثال: مفهوم جوانی

- رایانش سخت: 25 سالگی
- رایانش نرم: از 15 تا 40 سالگی

محاسبات (رایانش) نرم چیست؟

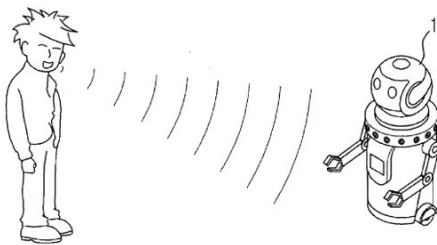
○ بسیاری از مسائل دنیای واقعی

- دارای عدم قطعیت بوده و تقریبی هستند
- با رایانش سخت قابل حل نیستند (با هزینه زیاد قابل حل هستند)



○ مثال

- مسائل مختلف بازشناسی
- پیش بینی
- کنترل

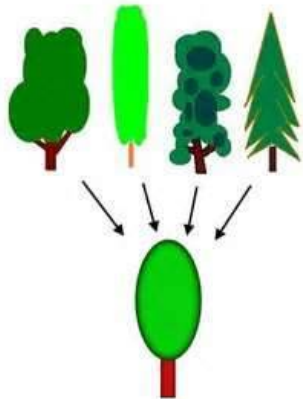


رایانش نرم: ویژگی منحصر به فرد

○ حل مسائل غیرخطی که توسط روش‌های رایج محاسباتی (ریاضی) قابل حل نیستند.

- قابلیت تعمیم‌پذیری (Generalization)

- تولید پاسخ درست برای الگوهای ورودی جدید که با الگوهای آموزش داده شده (قبلاً مشاهده شده) تا حدودی متفاوت است



- ایجاد تعمیم‌پذیری با رایانش سخت، بسیار مشکل است.

○ استفاده از دانش بشری (مانند تشخیص، بازشناسی، درک و یادگیری) در حل مسائل

- یادگیری از روی داده (نمونه‌های آموزشی)

رایانش نرم: تاریخچه مختصر ...

SC	=	EC	+	NN	+	FL
Soft Computing		Evolutionary Computing		Neural Network		Fuzzy Logic
Zadeh 1981		Rechenberg 1960		McCulloch 1943		Zadeh 1965

محاسبات فازی ...

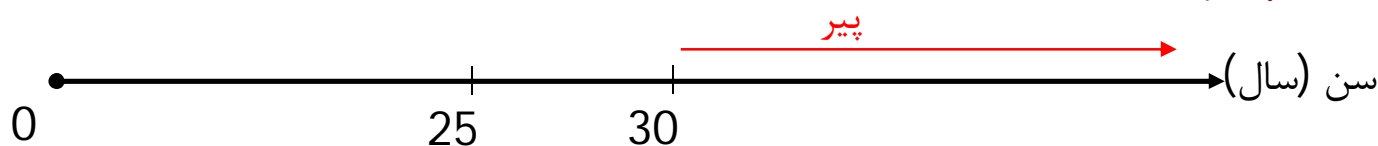
○ محاسبات فازی (Fuzzy Computing)

- معنی کلمه fuzzy: غیردقیق، ناواضح و مبهم

○ سوال (مفهوم جوانی)؟

- شخصی با سن 15 سال جوان است یا نه؟
- یک شخص 25 ساله چی؟
- شخصی 35 ساله چطور؟

○ جواب:؟



○ تصمیم گیری بر اساس **نقطه** (کمتر از 30)



محاسبات فازی ...

○ سوال (مفهوم جوانی)؟

- جواب: در هر سه مورد می توان گفت بله!

- فرد 15 ساله در ابتدای سن جوانی است.

- فرد 25 ساله کاملاً جوان است.

- شخص 35 ساله در انتهای سن جوانی قرار دارد.

○ این مساله برای خیلی از مفاهیم دیگر نیز وجود دارد:

- امروز هوا سرد است، دمای هوا پایین است.

- وقتی با سرعت زیاد به چراغ قرمز نزدیک می شوید، با فشار ترمز سرعت را کم کنید

- با دیدن این گل زیبا، حال من خوب شده است.

- و ...

○ متغیرهای زبانی (Linguistic Variables)

محاسبات فازی ...

- زبان طبیعی و محاوره‌ای، دارای مشخصه ابهام و عدم شفافیت است
 - ما در زندگی روزمره همواره با کلماتی غیردقیق و مبهم سر و کار داریم
- ملاک‌های قضاوت انسان بیشتر کیفی است نه کمی

○ مثال: پارادوکس توده (Heap Paradox)

- یک توده از اجزا مانند توده سنگ یا توده شن را در نظر بگیرید.
- حال یکی از دانه‌ها را از آن بردارید، باز هم توده است
- این کار را ادامه دهید تا فقط به دو تا دانه برسید
- آیا باز هم توده است؟ مسلماً نه
- سوال: این توده کی از حالت "توده بودن" به حالت "غیر توده" تبدیل شده است؟ (مرز دقیق بین آنها)
- واژه‌های زبانی مانند "توده" دارای ابهام هستند.



محاسبات فازی ...

○ برخی از مسائل دنیای واقعی فاقد حد و مرزهای واضح و روشن هستند ولی روش های ریاضی و کلاسیک کاملاً دقیق هستند.

○ فازی

- طرز تفکری جدید، یک دستگاه استنتاجی جدید
- برای برطرف ساختن ناتوانی منطق دوگانه و ریاضیات بسیار دقیق در برخورد با دنیای واقعی و نادقیق



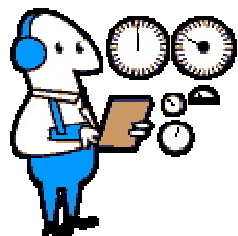
محاسبات فازی ...

○ عدم قطعیت در متغیرهای زبانی

- مفاهیمی مانند جوانی، بلند، کم، بزرگ، زیبا و ...

○ عدم قطعیت در مقیاس

- معیار فاصله به عنوان یک معیار در علوم دقیق



- کیلو متر، متر، سانتی متر، میلی متر، میکرو متر، پیکو متر و ...

- تا حدی می توان جلو رفت (از نظر تئوری تا بینهایت بار می توان به واحدهای کوچکتر هم رفت)

- هر چقدر هم واحدها را ریز تر کنیم هنوز هم این مقیاس بسیاری از اجزای ریز را در برنمی گیرد

- دقیق ترین معیارها هم مقداری خطا دارند و غیر قطعی اند.

محاسبات فازی ...

○ مجموعه افراد جوان

- در روش کلاسیک: $A = \{x \mid \text{سن } x \text{ بین } 15 \text{ تا } 30 \text{ سال باشد}\}$
- علی (30 سال) جوان است ولی احمد (30 سال و یک روز) جوان نیست!

○ راه حل: برای هر عضو مجموعه مانند a ، درصدی از عضویت آن به مجموعه A نیز در نظر بگیریم

- فرد 15 ساله (ابتدای جوانی) \Rightarrow 15 ساله ها 50% جوان هستند
- فرد 25 ساله (کاملاً جوان) \Rightarrow 25 ساله ها 100% جوان هستند
- فرد 35 ساله (انتهای جوانی) \Rightarrow 35 ساله ها 40% جوان هستند

○ جوانی مفهومی غیردقیق و فازی است (مجموعه فازی)

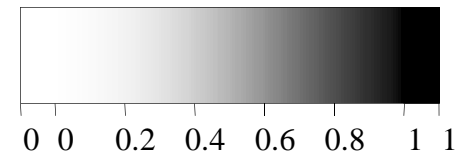
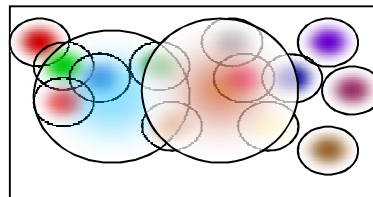
محاسبات فازی ...

○ مجموعه فازی ...

- به هر عضو مجموعه (مانند a) میزان تعلق آن به مجموعه A را در نظر بگیریم
- این کار با تابعی به صورت زیر انجام پذیر است:
- میزان تعلق بین صفر و یک (خاکستری)

$$\mu(x) : X \rightarrow [0,1]$$

تابع عضویت
(Membership function)



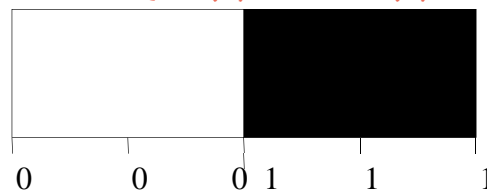
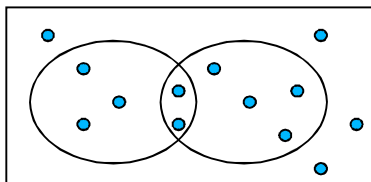
○ مثال جوانی (فازی): {15ساله (0.5)، 25ساله (1.0)، 31ساله (0.8)، ...}

$$\mu(x) : X \rightarrow \{0,1\}$$

- تابع عضویت مجموعه‌های کلاسیک

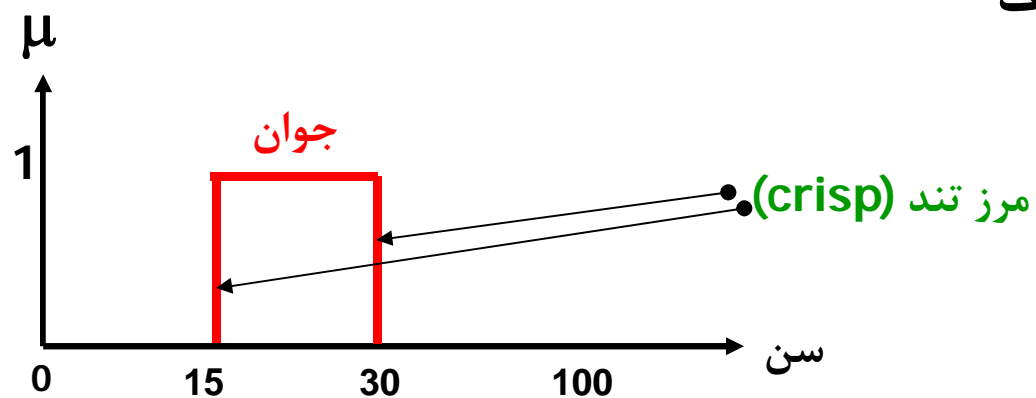
- میزان تعلق یا صفر است یا یک (سیاه و سفید)

○ مثال جوانی (کلاسیک): {15ساله (1)، 25ساله (1)، 31ساله (0)، ...}

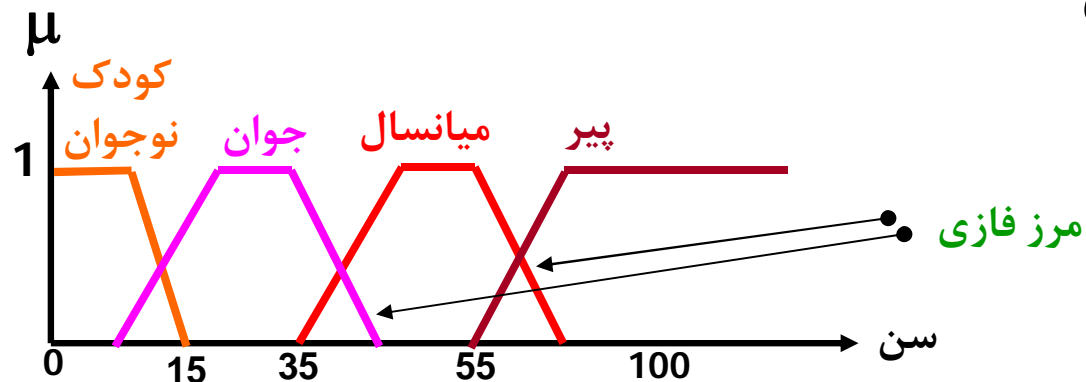


محاسبات فازی ...

○ مجموعه کلاسیک



○ مجموعه فازی



محاسبات فازی ...

○ برخی از کاربردها

- ربات شرکت هوندا (ASIMO)

○ بالا و پایین رفتن از پله، چرخش به دور خود در یک مکان، تعامل بیشتر با محیط، راه رفتن طبیعی

- ربات شرکت سونی (QRio)

○ راه رفتن، نشستن، یادگیری، ضربه زدن و ...

- شرکت ماتسوشیتا

○ تنظیم دورهای ماشین لباسشویی، سیستم تهویه مطبوع، ماشین های ظرفشویی، جارو برقی

- کانن، سونی، پاناسونیک

○ دوربین های فیلم برداری و عکاسی

- مزدا، هوندا، نیسان

○ کنترل سوخت، جعبه دنده خودکار، سیستم ضد بلوکه شدن ترمزها

- توشیبا، میتسوبیشی

○ کنترلر آسانسور، جاروی برقی، تهویه مطبوع

- گلداستار، هیتاچی، سامسونگ، سونی

○ تلویزیون



محاسبات نرونی ...



○ محاسبات نرونی (Neuro-Computing)

- محاسبات بر پایه عملکرد عصبها (نرونها) = شبیه‌سازی مغز

- مغز = شبکه‌ای بسیار بزرگ از عصبها (نرونها)

- 100.000.000.000 نرون

- 10.000 اتصال برای هر نرون

○ شبکه عصبی مصنوعی [Artificial Neural Network]

- شبیه‌سازی شبکه عصبی طبیعی

- یک سیستم پردازش اطلاعات با ویژگی‌های مشترکی با شبکه‌های عصبی طبیعی

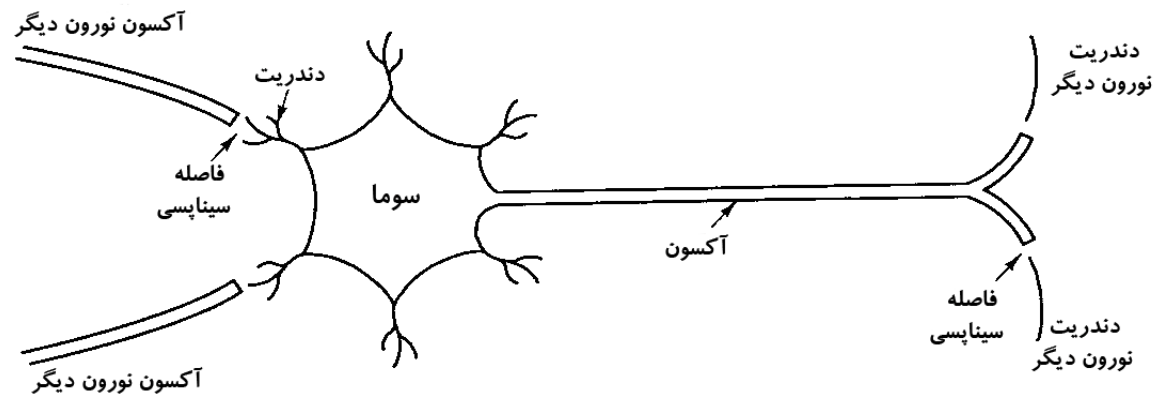
- تعمیم یافته مدل‌های ریاضی تشخیص انسان بر اساس زیست‌شناسی عصبی

محاسبات نرونی ...

- عنصر پردازشگر تشکیل دهنده یک شبکه عصبی مصنوعی
 - نرون (Neuron) = عصب طبیعی (سلول مغزی)

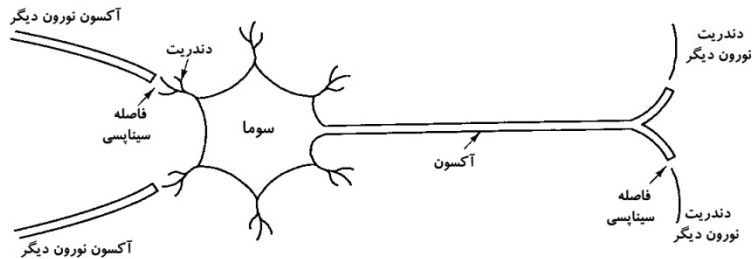
○ سه جزء تشکیل دهنده یک نرون طبیعی

- دندریت‌ها (Dendrite): دریافت سیگنال از سایر نرون‌ها
- سوما (Soma) = بدنه سلول: سیگنال‌های ورودی به سلول را جمع می‌بندد
- آکسون (Axon): ارسال سیگنال به نرون(های) دیگر

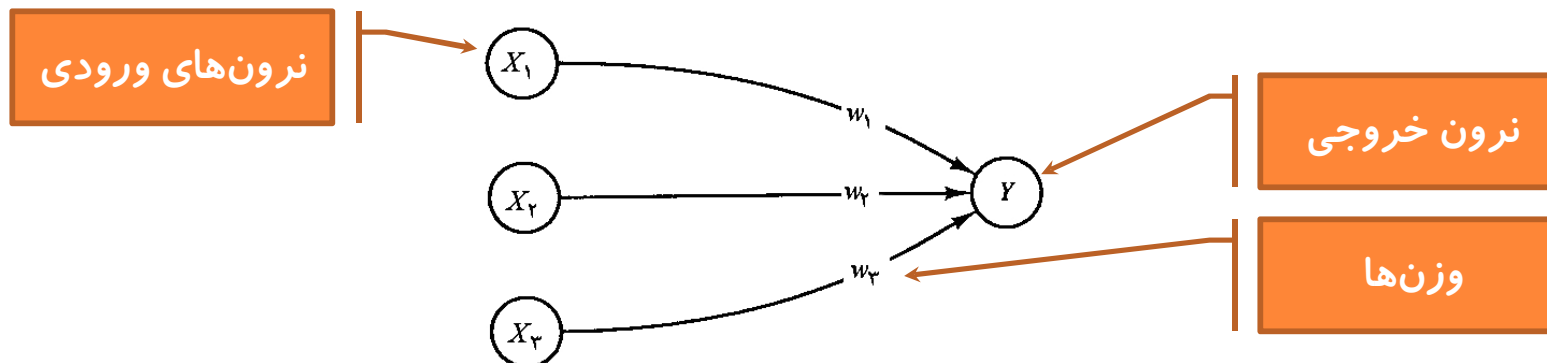


محاسبات نرونی ...

عملکرد نرون طبیعی

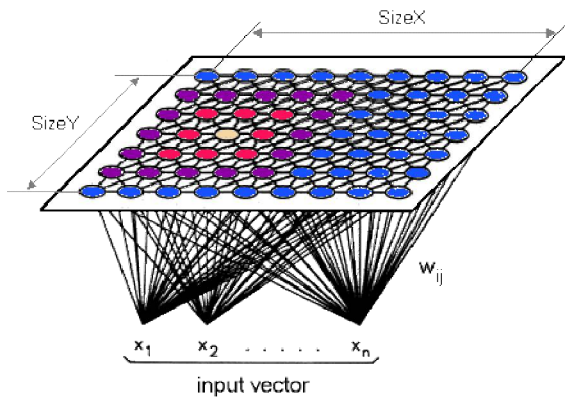


- دریافت سیگنال از سایر نرون‌ها توسط دندریت‌ها
- عبور سیگنال‌ها با یک فرآیند شیمیایی از فاصله سیناپسی (Synaptic Gap)
- عمل شیمیایی انتقال دهنده، سیگنال ورودی را تغییر می‌دهند (تضعیف/تقویت سیگنال)
- سوما سیگنال‌های ورودی به سلول را جمع می‌بندد
- زمانی که یک سلول به اندازه کافی ورودی دریافت نماید، برانگیخته می‌شود و سیگنالی را از آکسون خود به سلول‌های دیگر می‌فرستد.



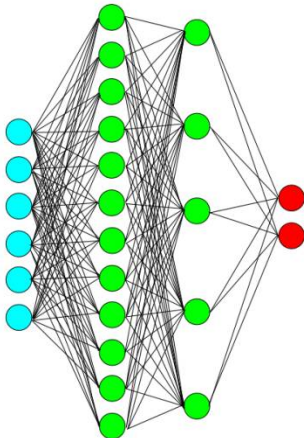
$$y_{in} = w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 = \sum_i w_i x_i \quad \longrightarrow \quad y = f(y_{in})$$

محاسبات نرونی

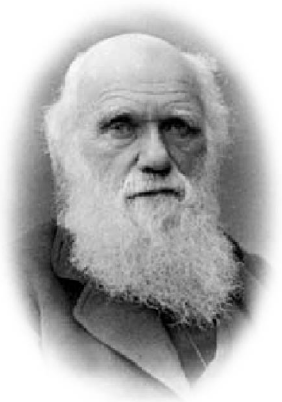


○ برخی از انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی

- مک‌کلاچ-پیتز (اولین شبکه عصبی مصنوعی) - 1943
- شبکه هب - 1949
- پرسپترون - 1958
- شبکه آدالین - 1960
- شبکه هاپفیلد - 1982
- نگاشت‌های خودسازمانده کوهونن (SOM) - 1982
- الگوریتم پس‌انتشار خطا برای شبکه‌های پرسپترون چندلایه (MLP) - 1985
- شبکه‌های نظریهٔ نوسان افقی (ART) - 1987
- توسعه شبکه توابع پایه شعاعی (RBF) - 1988
- یادگیری عمیق (Deep Learning) - 2006



محاسبات زیستی ...



○ محاسبات زیستی (Evolutionary Computing)

- حل مسائل بهینه‌سازی، جستجو و یادگیری ماشین با الهام از تکامل زیستی

- نظریه تکامل زیستی داروین (1859)

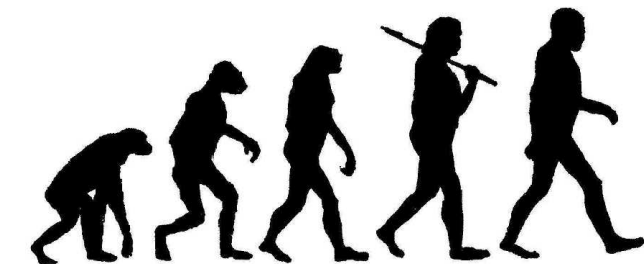
- حیوانات و گیاهان امروزی از نسل موجودات ماقبل تاریخ هستند -صدها میلیون سال از حیات می‌گذرد
- حیات تنها با یک یا تعدادی ارگانیسم ساده شروع شده و بعدها تکامل یافته و تبدیل به میلیون‌ها گونه متفاوت امروزی شده است
- تمامی فرآیند خلقت گونه‌های مختلف حیات، ناشی از یکی از نیروهای هدایت‌کننده در طبیعت با نام انتخاب طبیعی (Natural Selection) است

- از بین رفتن نمونه‌های ضعیف و زنده ماندن نمونه‌های برتر = تکامل تدریجی
- انتخاب طبیعی راز بقای برترین‌ها در طبیعت و انتقال خصوصیات برتر به نسل بعد = قانون بقای اصلح (Survival of the Fittest)

محاسبات زیستی ...

○ مثال‌هایی از نیروی انتخاب طبیعی

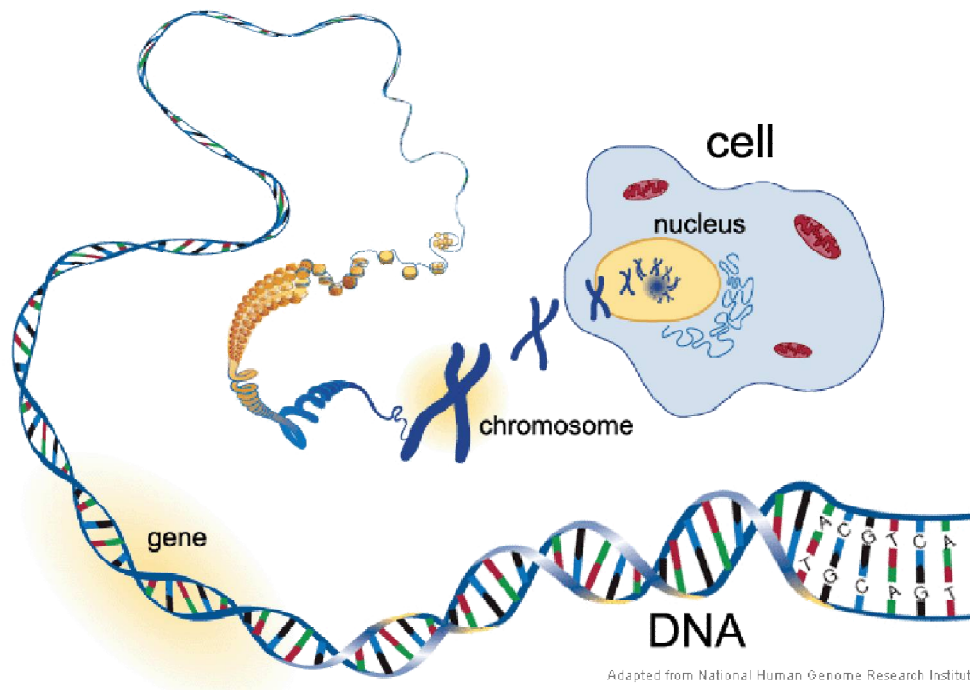
- تکامل سیستم شنوایی و تضعیف سیستم بینایی خفاش به دلیل زندگی در غار
- تکامل سیستم بینایی عقاب به دلیل نیاز به شکار و پرواز در ارتفاعات بالا در کوهستان
- تکامل ویژگی‌های استتار جهت پنهان ماندن از چشم صیاد در آفتاب پرست، مارمولک، پروانه، خرس قطبی
- وابستگی شکل آواز پرندگان به زیستگاه آنها
 - محیط‌های جنگلی و پوشش گیاهی انبوه، صداهایی با فرکانس پایین و تحریر فاصله‌دار
 - تخریب صدای فرکانس بالا توسط محیط جنگل
 - علفزارها و زیستگاه‌های باز، صداهایی با فرکانس بالا و تحریرهای سریع و پی در پی
 - تخریب صدا توسط باد



محاسبات زیستی ...

○ مفاهیم ...

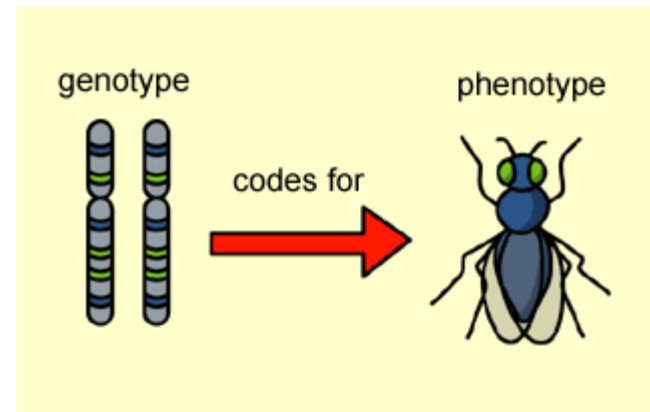
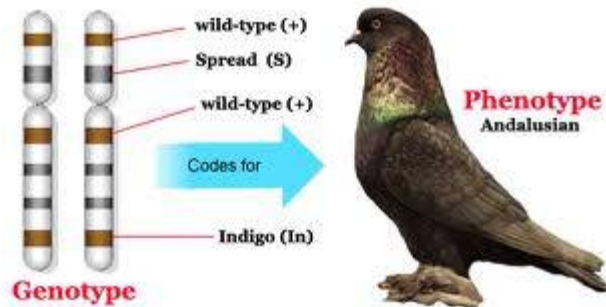
- کروموزوم (Chromosome) – محل ذخیره سازی اطلاعات ژنی یک موجود
 - تشکیل شده از DNA
 - رشته، گراف، درخت = پاسخ مساله
- ژن (Gene) – کروموزم از واحدهای کوچک تری به نام ژن تشکیل شده است
 - ویژگی (مشخصه) داده ها



محاسبات زیستی ...

○ مفاهیم ...

- ژنوتایپ (Genotype) - ترکیب تمام ژن ها برای یک فرد مشخص
- فنوتایپ (Phenotype) - خصوصیات ظاهری یک فرد، حاصل شده از رمزگشایی یک ژنوتایپ
- آلل (Allele) - مقادیر مجاز برای هر ژن
 - مقادیر مجاز برای مشخصه‌های هر پاسخ
- برازش (Fitness) - میزان شایستگی یک موجود در جمعیت



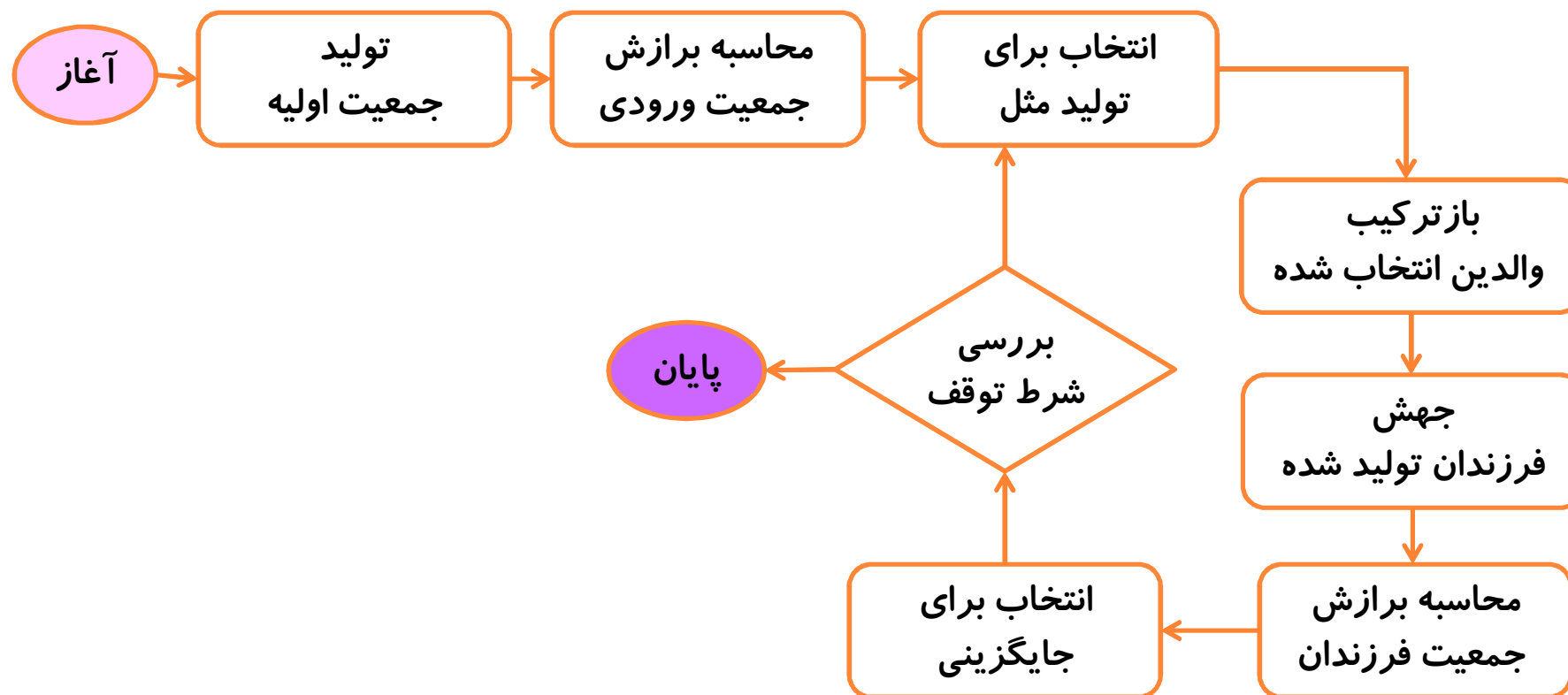
محاسبات زیستی ...

○ مراحل یک الگوریتم تکاملی ...

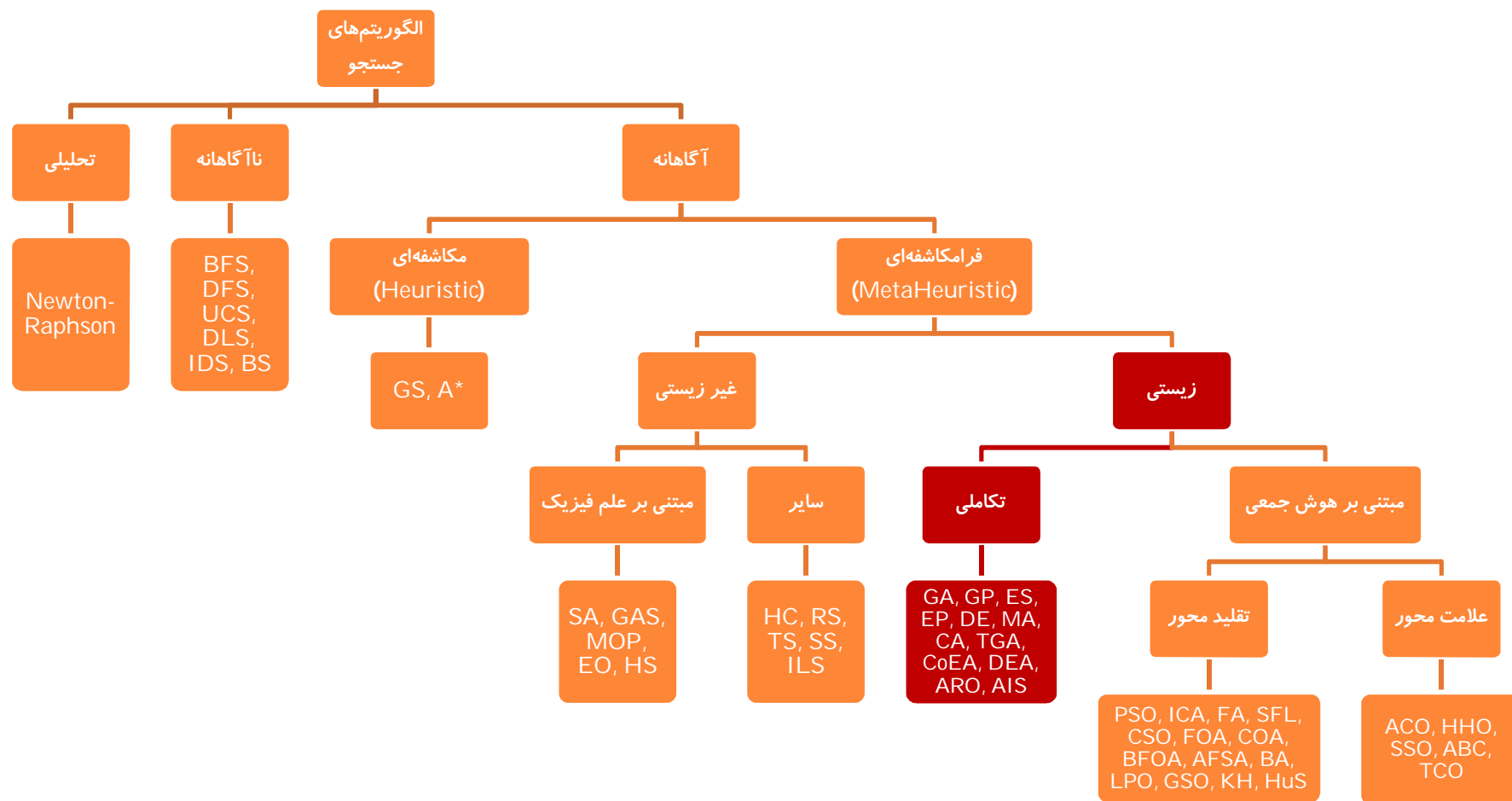
- 1- تولید جمعیت اولیه
- 2- محاسبه برآزش جمعیت ورودی
- 3- انتخاب (Selection) برای تولید مثل (Reproduction): انتخاب والدین شایسته‌تر
 - قانون بقای اصلح داروین
- 4- باز ترکیب (Recombination) والدین انتخاب شده: تولید یک یا چند فرزند با ترکیب ژن‌های دو یا چند والد با هم‌برش (Crossover)
 - مفهوم جفت‌گیری
- 5- جهش (Mutation) فرزندان تولید شده: تغییر تصادفی ژن‌ها در یک کروموزوم
 - یافتن مقادیر جدید برای ژن فرزندان (ایجاد تفاوت با والدین)
- 6- محاسبه برآزش جمعیت فرزندان: محاسبه شایستگی فرزندان جدید
- 7- انتخاب برای جایگزینی (Replacement): تولید یک جمعیت به عنوان نسل جدید (از والدین قبلی و فرزندان جدید)

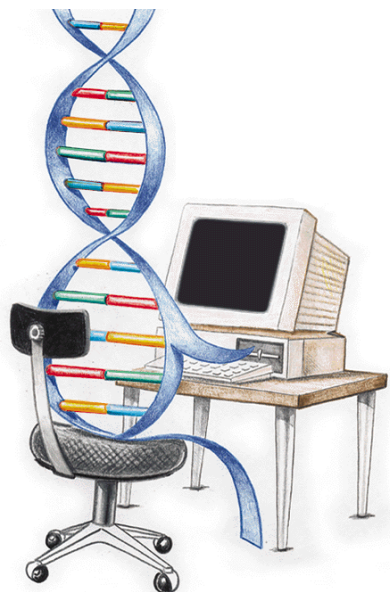
محاسبات زیستی ...

○ مراحل یک الگوریتم تکاملی



محاسبات زیستی ...





محاسبات زیستی ...

○ انواع الگوریتم‌های تکاملی

- الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm)
- برنامه‌نویسی ژنتیک (Genetic Programming)
- استراتژی تکامل (Evolutionary Strategy)
- برنامه‌نویسی تکاملی (Evolutionary Programming)
- تکامل تفاضلی (Differential Evolution)
- الگوریتم فرهنگی (Cultural Algorithm)
- الگوریتم هم‌تکاملی (Co-Evolutionary Algorithm)
- الگوریتم ممیتیک (Memetic Algorithm)
- بهینه‌سازی تولیدمثل غیرجنسی (Asexual Reproduction Optimization)
- ...

محاسبات زیستی ...

○ محاسبات زیستی مبتنی بر هوش جمعی (Swarm/Collective Intelligence)

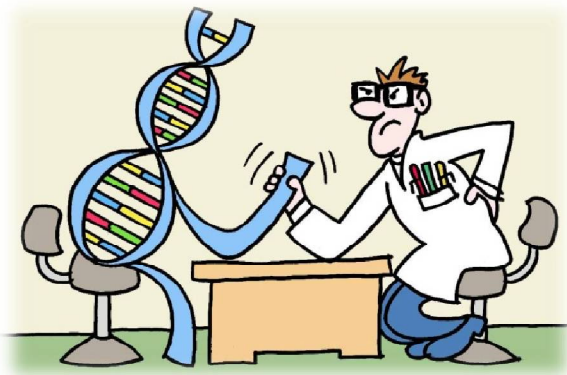
- تعامل گروهی از عامل‌ها (ی متحرک) با هم برای یافتن راه‌حل بهینه
- ایده از رفتار جمعی حشرات و حیوانات: مورچه، زنبور، ماهی، پرنده‌ها و ...
- هر موجود رفتار ساده‌ای دارد اما رفتار جمعی آنها پیچیده
- موریانه‌ها لانه‌هایی بسیار بزرگ و پیچیده می‌سازند که از درک یک موریانه خارج است

• روش‌های علامت محور (Stigmergy)

- ارتباط غیرمستقیم بین موجودات از طریق حافظه محیطی مشترک
- رفتار مورچه‌ها: حرکت در محیط بر اساس ترشح و تبخیر فرومون
- رفتار رقص گونه زنبورها هنگام یافتن مکان‌های غنی از گل

• روش‌های تقلید محور

- ارتباط مستقیم موجودات با هم (عدم وجود حافظه مشترک)
- استفاده از حافظه هر موجود (بهترین پاسخ محلی) و حافظه بهترین موجود جمعیت (پاسخ سراسری)
- حرکت به سوی بهترین پاسخ محلی و سراسری توسط خود و دیگران (تقلید)
- پرواز پرندگان



محاسبات زیستی

○ انواع محاسبات زیستی مبتنی بر هوش جمعی

- بهینه‌سازی کلونی مورچگان (Ant Colony Optimization)
- بهینه‌سازی کندوی زنبور عسل (Honeybee Hive Optimization)
- کلونی زنبور مصنوعی (Artificial Bee Colony)
- بهینه‌سازی کلونی مورخانه (Termite Colony Optimization)
- بهینه‌سازی ازدحام ذرات (Particle Swarm Optimization)
- الگوریتم رقابت استعماری (Imperialist Competitive Algorithm)
- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ماهی‌ها (Artificial Fish Swarm Algorithm)
- بهینه‌سازی ازدحام گربه‌ها (Cat Swarm Optimization)
- بهینه‌سازی جستجوی گروهی (Group Search Optimization)
- الگوریتم خفاش (Bat Algorithm)