

مبانی رایانش نرم

مقدمه و معرفی

هادی ویسی

h.veisi@ut.ac.ir

دانشگاه تهران - دانشکده علوم و فنون نوین

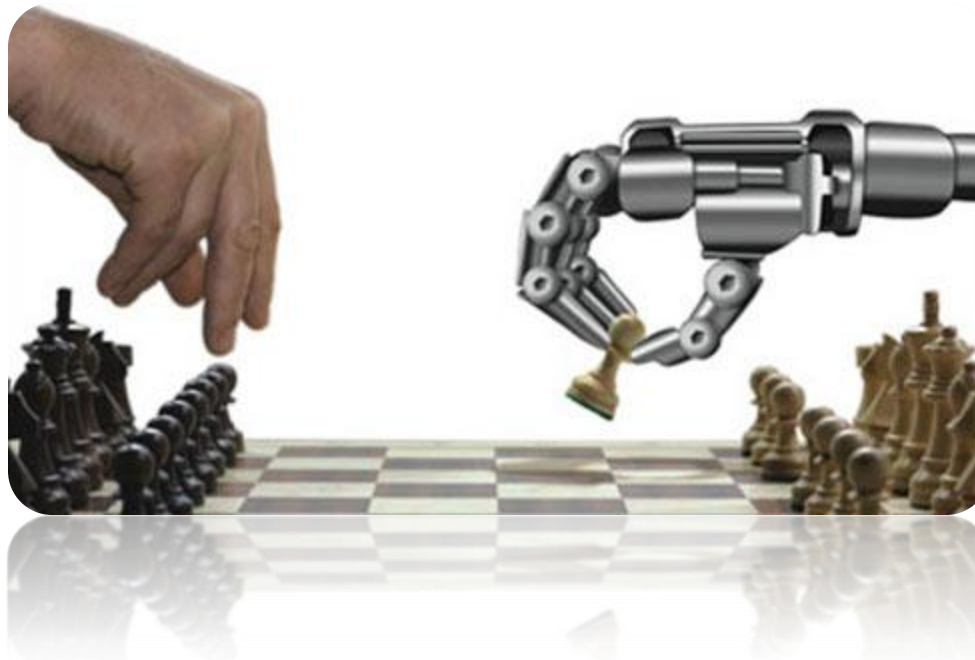


- محاسبات (رایانش) نرم چیست؟
- رایانش نرم: ویژگی‌ها و کاربردها
- رایانش نرم: تاریخچه مختصر
- انواع رایانش نرم
 - محاسبات نرونی
 - محاسبات فازی
 - محاسبات زیستی



سوال

○ برتری انسان به کامپیوترهای هوشمند چیست؟ برعکس چطور؟



محاسبات (رایانش) نرم چیست؟ ...

○ معرفی عبارت “Soft Computing” برای اولین بار

• توسط پروفسور لطفی زاده در سال ۱۹۸۱

- لطفعلی عسکرزاده - مشهور به لطفی زاده یا لطفی ع زاده
- متولد ۱۹۲۱ در باکو (آذربایجان) - پدر اردبیلی و مادر روسی
- آمدن به تهران در سن ۱۰ سالگی،
- ادامه تحصیل در دبیرستان البرز و دانشکده فنی دانشگاه تهران (فارغ التحصیل ۱۹۴۲)
- رفتن به آمریکا در جنگ جهانی دوم
- اخذ مدارک ارشد در مهندسی برق از دانشگاه MIT (۱۹۴۶)
- دکتری از دانشگاه و کلمبیا (۱۹۴۹)
- استاد دانشگاه برکلی
- بازنشستگی در ۱۹۹۱
- بنیان گذار منطق فازی (۱۹۶۵)



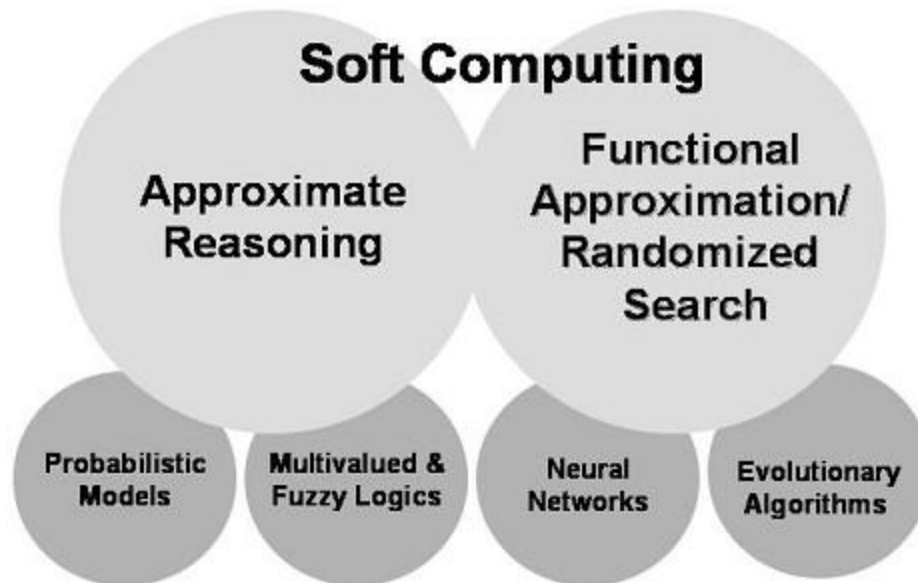


محاسبات (رایانش) نرم چیست؟ ...

○ تعریف “زاده” از رایانش نرم (Soft Computing)

• سیستمی چندرشته‌ای که ترکیبی از زمینه‌های زیر است:

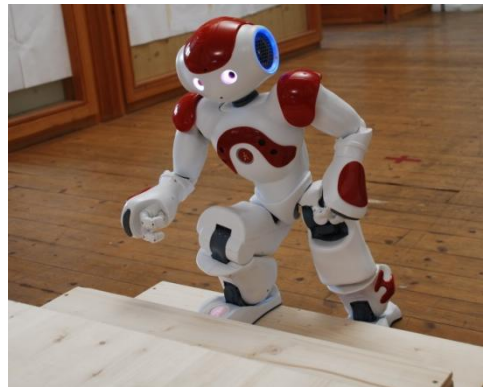
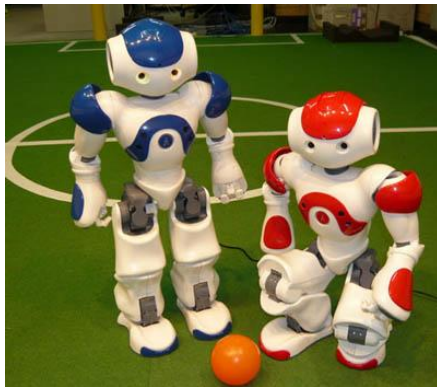
- منطق فازی (Fuzzy Logic)
- محاسبات نرونی (Neuro-Computing) = شبکه عصبی (Neural Network)
- محاسبات زیستی (Evolutionary) و ژنتیکی (Genetic)
- محاسبات احتمالاتی (Probabilistic Computing)



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



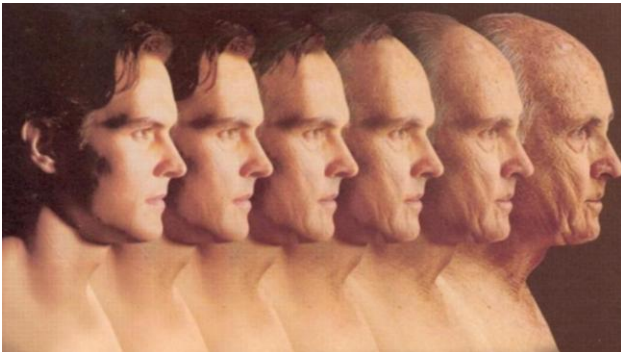
محاسبات (رایانش) نرم چیست؟ ...

○ 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)



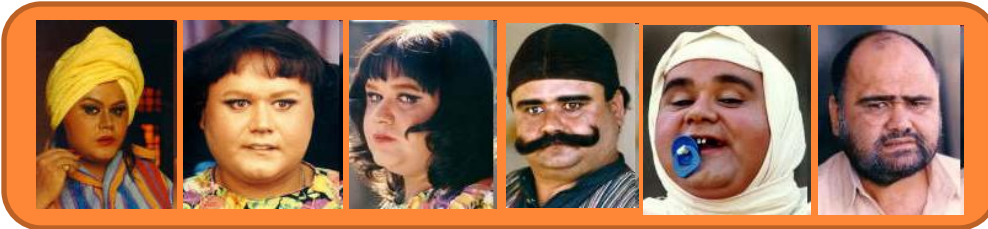
○ مثال: مفهوم جوانی

- رایانش سخت: ۲۵ سالگی
- رایانش نرم: از ۱۵ تا ۴۰ سالگی

محاسبات (رایانش) نرم چیست؟

○ بسیاری از مسائل دنیای واقعی

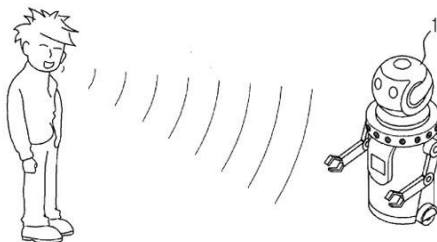
- دارای عدم قطعیت بوده و تقریبی هستند
- با رایانش سخت قابل حل نیستند (با هزینه زیاد قابل حل هستند)



○ مثال

- مسائل مختلف بازشناسی
- پیش بینی
- کنترل

فردار ما این است
که ما مانده ایم و شما از قه اند اما صحبت کن
که زمان ، ما را با خود برد است و شما مانده اند

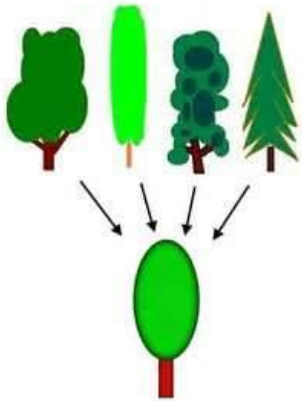


رایانش نرم: ویژگی منحصر به فرد

○ 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

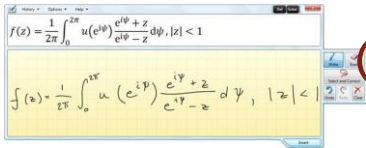


• ایجاد تعمیم‌پذیری با رایانش سخت، بسیار مشکل است.

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

• یادگیری از روی داده (نمونه‌های آموزشی)

رایانش نرم: کاربردها



○ بازشناسی (Recognition)

- بازشناسی چهره (Face Recognition)
- بازشناسی گفتار (Speech Recognition)
- بازشناسی گوینده (Speaker Recognition)
- بازشناسی نویسه‌های نوری (Optical Character Recognition)
- بازشناسی دست‌خط (Handwritten Recognition)
- بازشناسی پلاک خودرو (License Plate Recognition)

○ روش‌های زیست‌سنجی (Biometric)

○ پیش‌بینی‌ها

- مالی و تجاری
- مصرف
- آب و هوا



رایانش نرم: تاریخچه مختصر...

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



رایانش نرم: تاریخچه مختصر

○ (مفهوم) رایانش نرم قبل از ۱۹۸۱

- Einstein (1921)
 - So far as laws of mathematics refer to reality, they are not certain, and so far they are certain they do not refer to reality
- Russell (1923)
 - All traditional logic habitually assumes that precise symbols are being employed. It is therefore not applicable to this terrestrial life, but only to an imagined celestial existence
- Zadeh (1973)
 - As the complexity of a system increases, our ability to make precise and yet significant statements about its behavior diminishes until a threshold is reached beyond which precision and significance (or relevance) become almost mutually exclusive characteristics

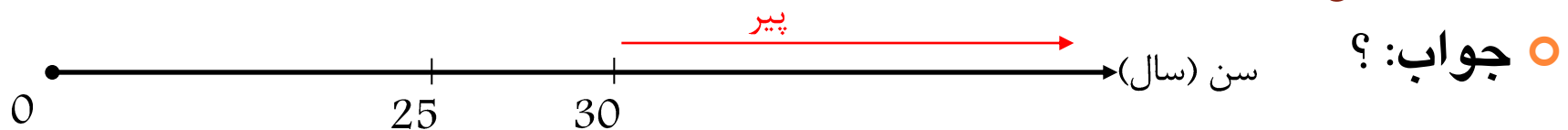
محاسبات فازی ...

○ محاسبات فازی (Fuzzy Computing)

- معنی کلمه fuzzy: غیردقیق، ناواضح و مبهم

○ سوال (مفهوم جوانی)؟

- شخصی با سن ۱۵ سال جوان است یا نه؟
- یک شخص ۲۵ ساله چی؟
- شخصی ۳۵ ساله چطور؟



○ تصمیم گیری بر اساس **نقطه** (کمتر از ۳۰)



محاسبات فازی ...

○ سوال (مفهوم جوانی)؟

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

○ فرد ۱۵ ساله در ابتدای سن جوانی است.

○ فرد ۲۵ ساله کاملاً جوان است.

○ شخص ۳۵ 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 ...

○ 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

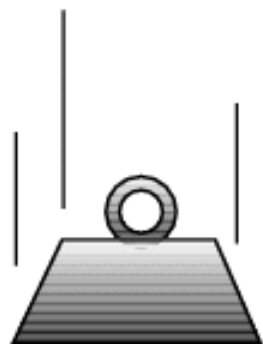
- معیار فاصله به عنوان یک معیار در علوم دقیق

- 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.
- در علوم غیردقیق مانند روانشناسی، عدم قطعیت به وضوح دیده می شود.
- فقدان اطلاعات کامل از دنیا منجر به عدم قطعیت می شود.

محاسبات فازی ...

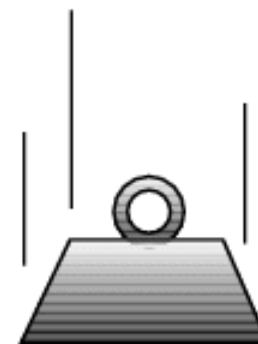
Precision and Significance in the Real World

A 1500 kg mass
is approaching
your head at
45.3 m/s



Precision

LOOK
OUT!!



Significance



محاسبات فازی ...

○ مجموعه افراد جوان

- در روش کلاسیک: $A = \{x \mid \text{سن } x \text{ بین } 15 \text{ تا } 30 \text{ سال باشد}\}$
- علی (۳۰ سال) جوان است ولی احمد (۳۰ 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 ۱۵ ساله (ابتدای جوانی) \Leftarrow ۱۵ ساله ها ۵۰٪ جوان هستند
- فرد ۲۵ ساله (کاملاً جوان) \Leftarrow ۲۵ ساله ها ۱۰۰٪ جوان هستند
- فرد ۳۵ ساله (انتهای جوانی) \Leftarrow ۳۵ ساله ها ۴۰٪ جوان هستند

○ جوانی مفهومی غیردقیق و فازی است (مجموعه فازی)

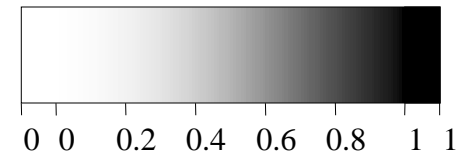
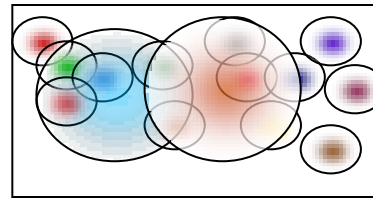
محاسبات فازی ...

○ 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)

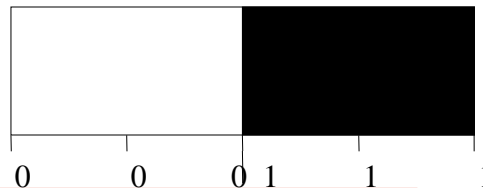
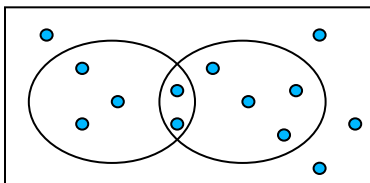


○ مثال جوانی (فازی): $\{15 \text{ ساله } (0.5), 25 \text{ ساله } (1.0), 31 \text{ ساله } (0.8), \dots\}$

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

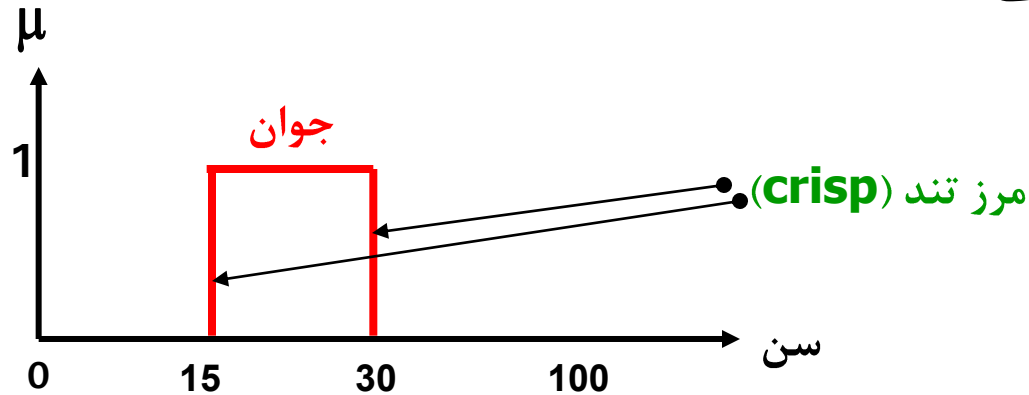
- تابع عضویت مجموعه‌های کلاسیک
- میزان تعلق یا صفر است یا یک (سیاه و سفید)

○ مثال جوانی (کلاسیک): $\{15 \text{ ساله } (1), 25 \text{ ساله } (1), 31 \text{ ساله } (0), \dots\}$

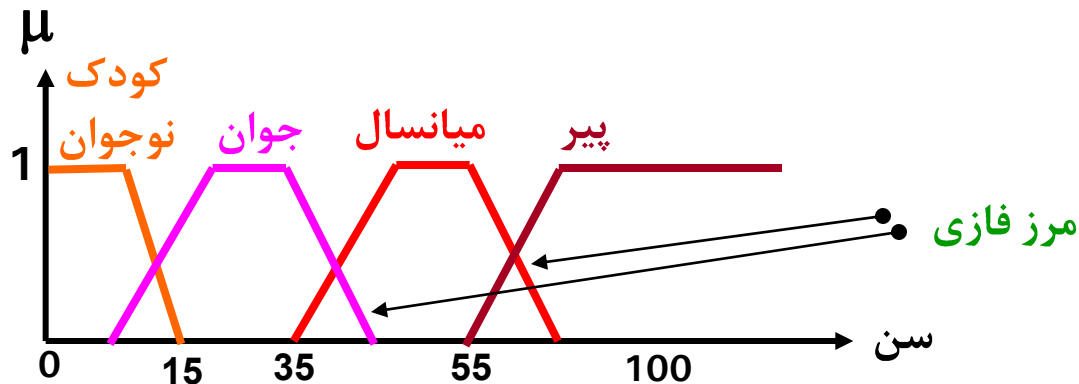


محاسبات فازی ...

○ 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، میتسوبیshi

- کنترلر آسانسور، جاروی برقی، تهویه مطبوع

- گلداستار، هیتاچی، سامسونگ، سونی

- تلویزیون



محاسبات فازی

تفکر فازی

محاسبات فازی

- مجموعه فازی
- اعداد فازی
- روابط فازی

سیستم‌های فازی

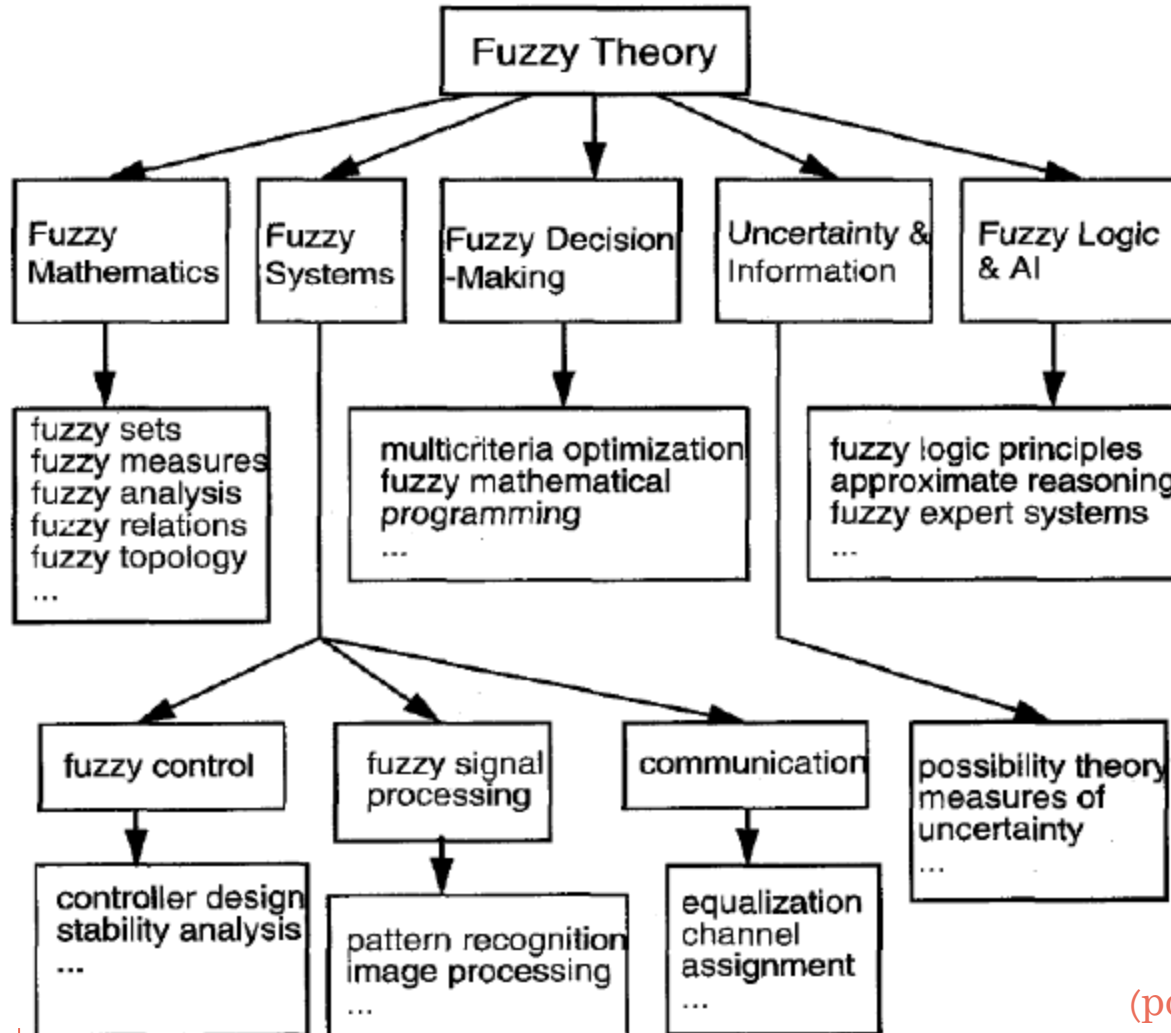
- کنترل فازی

منطق فازی

- استنتاج تقریبی

عدم قطعیت

- تئوری امکان (possibility)



محاسبات نرونی ...

○ محاسبات نرونی (Neuro-Computing)

- محاسبات بر پایه عملکرد عصبها (نرونها) = شبیه سازی مغز

- مغز = شبکه ای بسیار بزرگ از عصبها (نرونها)

- ۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ نرون

- ۱۰۰۰۰۰ اتصال برای هر نرون



○ شبکه عصبی مصنوعی [Artificial Neural Network]

- شبیه سازی شبکه عصبی طبیعی

- یک سیستم پردازش اطلاعات با ویژگی های مشترکی با شبکه های عصبی طبیعی

- تعمیم یافته مدل های ریاضی تشخیص انسان بر اساس زیست شناسی عصبی

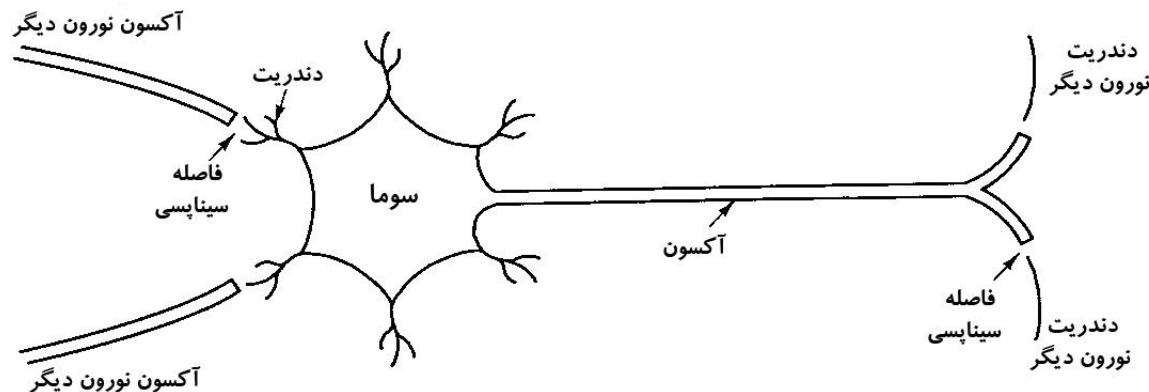
محاسبات نرونی ...

○ عنصر پردازشگر تشکیل دهنده یک شبکه عصبی مصنوعی

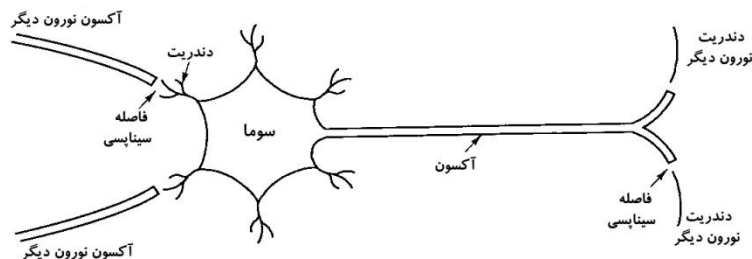
- نرون (Neuron) = عصب طبیعی (سلول مغزی)

○ 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

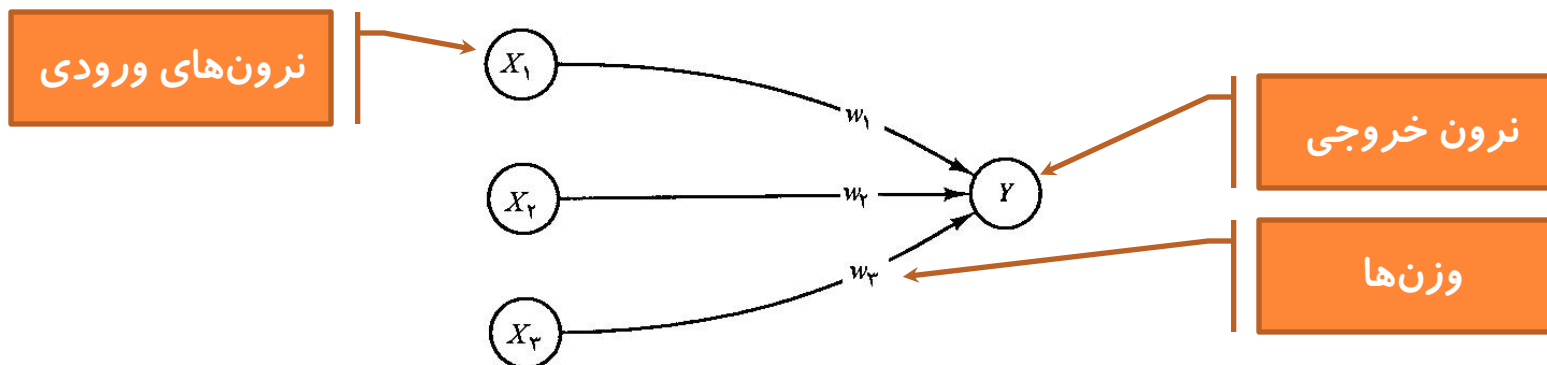


محاسبات نرونی ...



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.

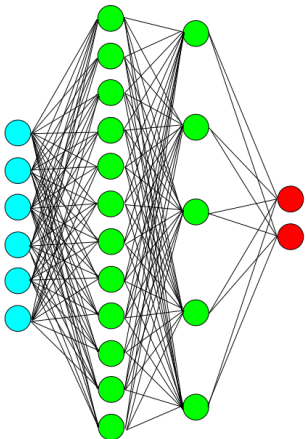
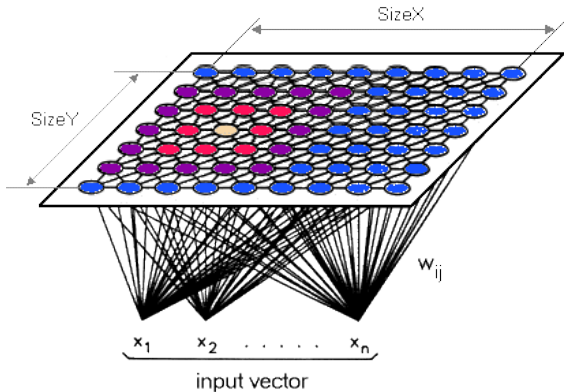


$$y_{in} = w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 = \sum_i w_i x_i \quad \longrightarrow \quad y = f(y_{in})$$

محاسبات نرونی

○ برخی از انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی

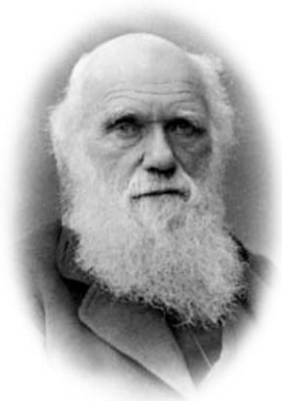
- مک کلاچ-پیتز (اولین شبکه عصبی مصنوعی) - ۱۹۴۳
- شبکه هب - ۱۹۴۹
- پرسپترون - ۱۹۵۸
- شبکه آدالاین - ۱۹۶۰
- شبکه هاپفیلد - ۱۹۸۲
- نگاشت‌های خودسازمانده کوهونن (SOM) - ۱۹۸۲
- الگوریتم پس‌انتشار خطا برای شبکه‌های پرسپترون چندلایه (MLP) - ۱۹۸۵
- شبکه‌های نظریهٔ نوسان افقی (ART) - ۱۹۸۷
- توسعه شبکه توابع پایه شعاعی (RBF) - ۱۹۸۸
- یادگیری عمیق (Deep Learning) - ۲۰۰۶



محاسبات زیستی ...

○ محاسبات زیستی (Evolutionary Computing)

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



- نظریه تکامل زیستی داروین (۱۸۵۹)

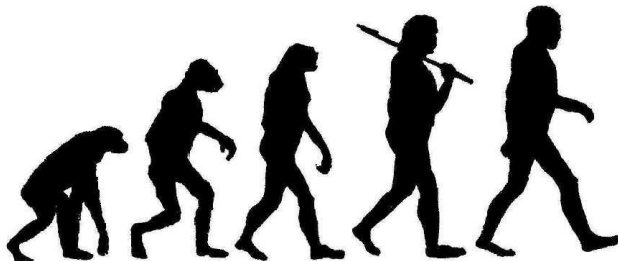
- حیوانات و گیاهان امروزی از نسل موجودات ماقبل تاریخ هستند-صدها میلیون سال از حیات می‌گذرد
- حیات تنها با یک یا تعدادی ارگانیسم ساده شروع شده و بعدها تکامل یافته و تبدیل به میلیون‌ها گونه متفاوت امروزی شده است
- تمامی فرآیند خلقت گونه‌های مختلف حیات، ناشی از یکی از نیروهای هدایت‌کننده در طبیعت با نام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

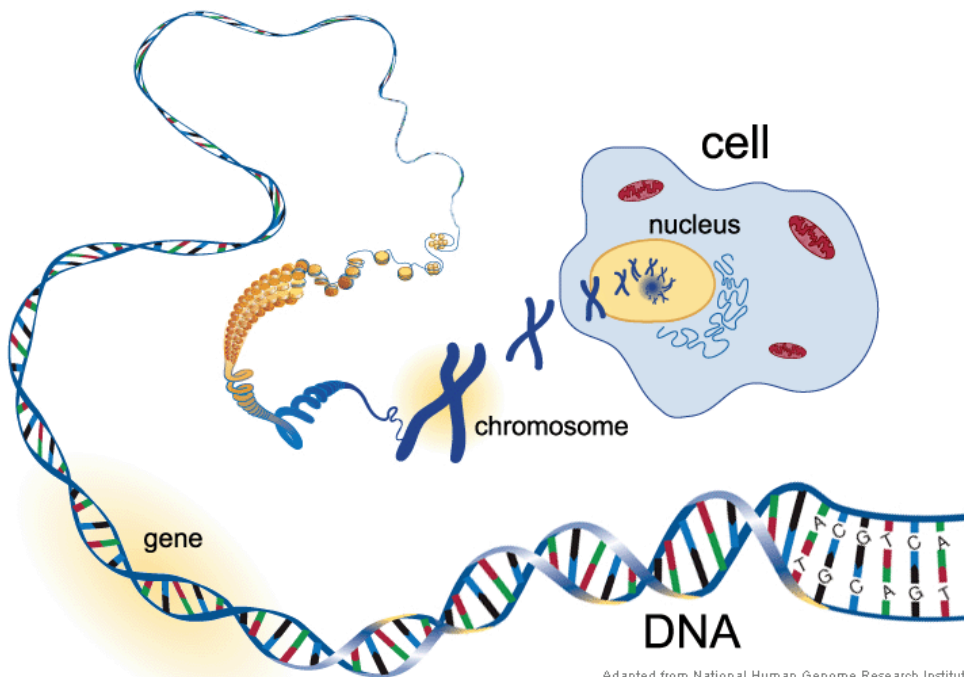
- کروموزوم (Chromosome) – محل ذخیره سازی اطلاعات ژنی یک موجود

○ 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

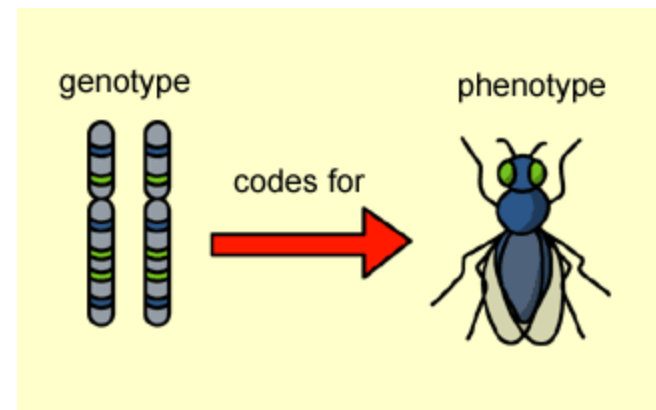
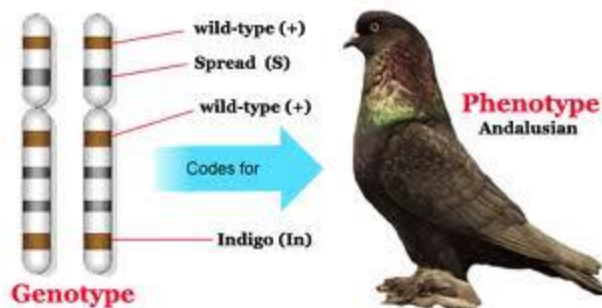


Adapted from National Human Genome Research Institute

محاسبات زیستی ...

○ مفاهیم ...

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





محاسبات زیستی ...

○ مراحل یک الگوریتم تکاملی ...

۱- تولید جمعیت اولیه

۲- محاسبه برآزش جمعیت ورودی

۳- انتخاب (Selection) برای تولید مثل (Reproduction): انتخاب والدین شایسته‌تر

○ قانون بقای اصلح داروین

۴- باز ترکیب (Recombination) والدین انتخاب شده: تولید یک یا چند فرزند با ترکیب ژن‌های دو یا چند والد با هم‌برش (Crossover)

○ مفهوم جفت‌گیری

۵- جهش (Mutation) فرزندان تولید شده: تغییر تصادفی ژن‌ها در یک کروموزوم

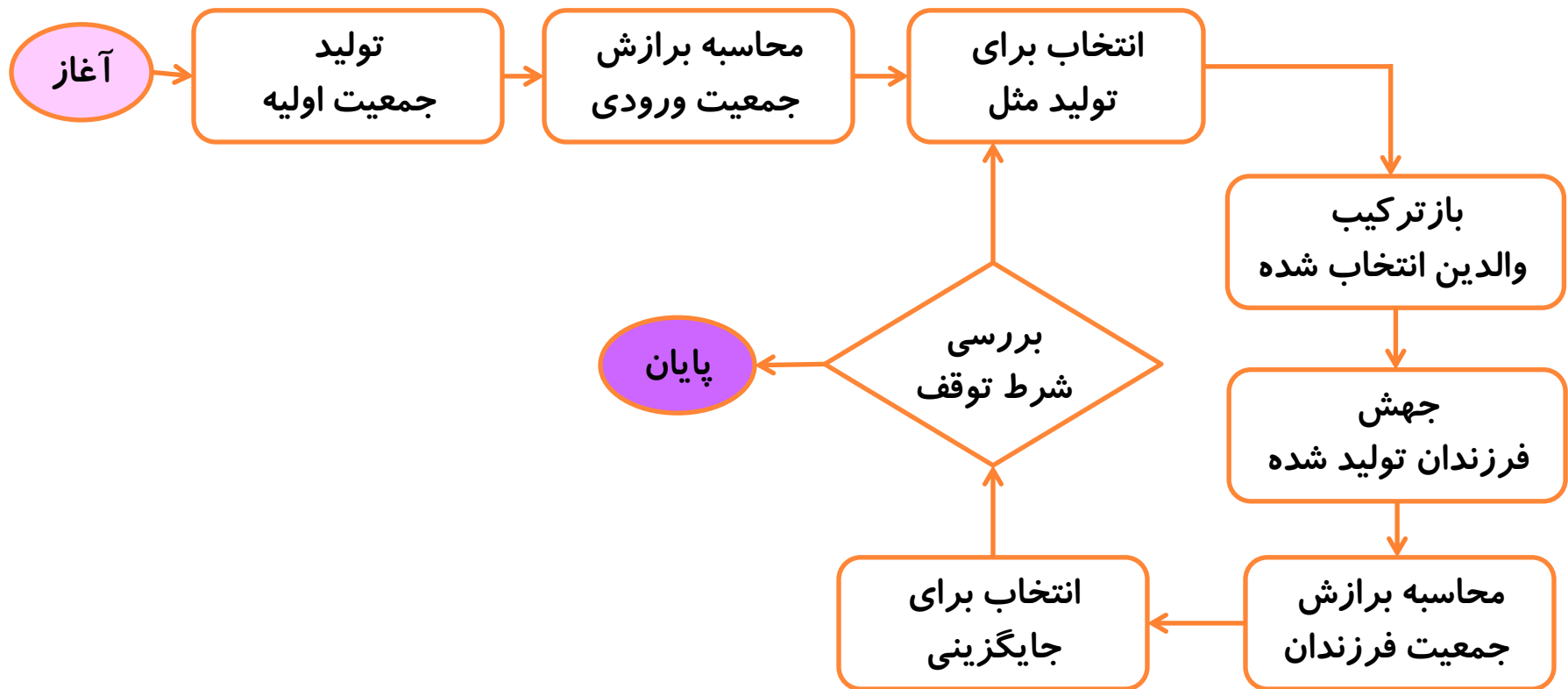
○ یافتن مقادیر جدید برای ژن فرزندان (ایجاد تفاوت با والدین)

۶- محاسبه برآزش جمعیت فرزندان: محاسبه شایستگی فرزندان جدید

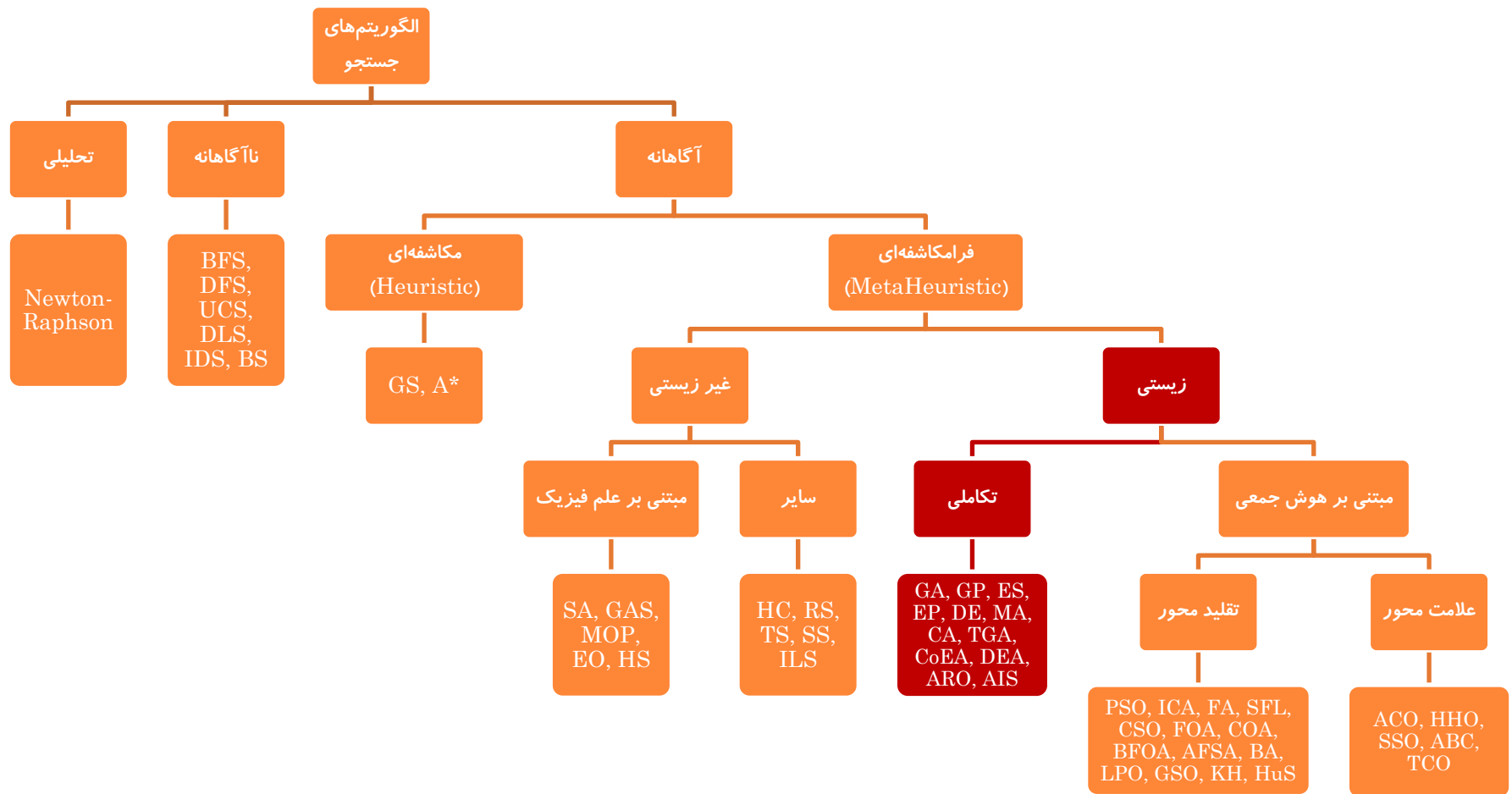
۷- انتخاب برای جایگزینی (Replacement): تولید یک جمعیت به عنوان نسل جدید (از والدین قبلی و فرزندان جدید)

محاسبات زیستی ...

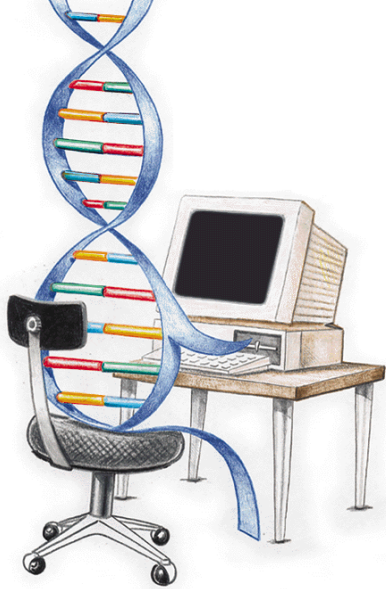
○ مراحل یک الگوریتم تکاملی



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

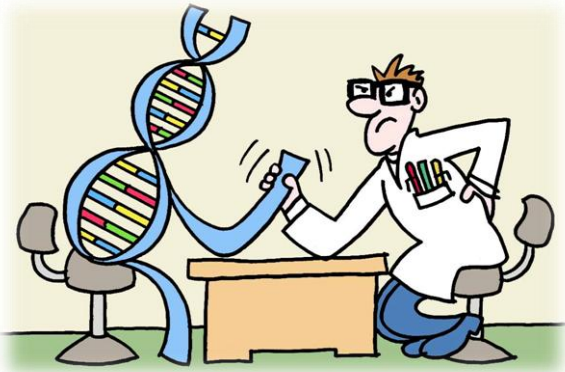
• روش‌های علامت محور (Stigmergy)

- 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)