



波现象与智能反演成像研究组



AI/ML与地震数据分析本质关系的思考

报告人：王华忠

波现象与智能反演成像研究组 (WPI)

同济大学海洋与地球科学学院，上海

2021年08月26日

目录

- ◆ **一、概述**
- ◆ **二、AI/ML的发展概况**
- ◆ **三、AI/ML的本质问题**
- ◆ **四、勘探地震数据分析的本质问题**
- ◆ **五、总结与讨论**



一、概述

◆大自然是大师中的大师，除非从它那里获得灵感，否则都是徒劳的。

---达·芬奇

◆相对于其他自然科学领域，**智能**是迄今为止自然界广泛存在、影响普遍而深远、却又没有得到深入认识的一个**对象**。

◆自然智能的表现多种多样，人类智能是自然智能中的最高存在形式。因此很容易把自然智能等同于人类智能。

◆正因为人类智能是自然智能的最高级存在形式，**研究和仿生人类智能**成为智能科学研究的最重要目的。

仿生人脑不是复制人脑！
基于大规模集成电路（门电路）的微电子系统不可能**复现**基于生化过程的有机体系统。永远也做不到！

一、概述

◆ 尽管对智能并没有统一的定义，人类智能包括如下几个方面是基本都认可的：

◆ 1、语言智能 (Linguistic intelligence)

- ◆ 是指有效的运用口头语言或及文字表达自己的思想并理解他人，灵活掌握语音、语义、语法，具备用言语思维、用言语表达和欣赏语言深层内涵的能力结合在一起并运用自如的能力。

◆ 2、数学逻辑智能(Logical-Mathematical intelligence)

- ◆ 是指有效地计算、测量、推理、归纳、分类，并进行复杂数学运算的能力。

◆ 3、空间智能(Spatial intelligence)

- ◆ 是指准确感知视觉空间及周围一切事物，并且能把所感觉到的形象以图画的形式表现出来的能力。

◆ 4、身体运动智能(Bodily-Kinesthetic intelligence)

- ◆ 是指善于运用整个身体来表达思想和情感、灵巧地运用双手制作或操作物体的能力。

◆ 5、音乐智能(Musical intelligence)

- ◆ 是指人能够敏锐地感知音调、旋律、节奏、音色等能力。

◆ 6、人际智能(Interpersonal intelligence)

- ◆ 是指能很好地理解别人和与人交往的能力。

◆ 7、自我认知智能(Intrapersonal intelligence)

- ◆ 是指自我认识和善于自知之明并据此做出适当行为的能力。

◆ 8、自然认知智能 (Naturalist intelligence)

- ◆ 是指善于观察自然界中的各种事物，对物体进行辩论和分类的能力。

人类智能复杂多样！
必须抽象出各种智能形式背后的实质！



一、概述

- ◆人类智能过于复杂和微妙，人工智能不必要复制人工智能，而知强化智能的本质。
- ◆智能的本质是什么？我认为**智能的本质是感知环境、理解环境、最佳决策、合理行动。**
- ◆智能的定义：行为体依据“环境”或“请求”做出最佳决策（或响应）的能力。**我给出的定义**
- ◆智能是指个体对客观事物进行合理分析、判断及有目的地行动和有效地处理周围环境事宜的综合能力。**网上给出的定义**
- ◆我们知道，智能一定是**群体行为**才能体现出来的。智能也是由**群体在与环境的互动中**发展出来的。大量单个个体及它们之间的相互作用（相互连接）在与环境的博弈中一定会产生智能，这是大自然的进化发展规律。



一、概述

◆人工（造）智能的定义：人造行为体依据“环境”或“请求”做出最佳决策（或响应）的一套算法。我给出的定义

◆人工智能（系统）：首先是具备感知能力，包括视觉、语音、语言；然后是具备决策能力，进行识别、预测，做出决策和判断；最后要有一套完整的系统，执行带反馈的行动。网上给出的定义



一、概述

- ◆ **智能的根本要素：**
 - ◆ **感知和理解环境；**
 - ◆ **做出最佳决策；**
 - ◆ **产生正确的行动。**

- ◆ **其中，感知和理解环境是最重要的环节。人类智能主要通过经验（表现为语言描述的规则或概念）和规则来理解。**



一、概述

- ◆ 人工智能是一种由**计算机+算法**实现的智能形式。各种形式的“数据”构成了人工智能的成长和发展的环境。
- ◆ 因此，**大数据、高性能计算+算法**构成了**当前人工智能**成长与发展的三大要素。尤其是**大数据**构成了当期人工智能的根本基础。

一、概述

- ◆ **从数据中挖掘出用于决策的有效信息，执行最佳决策（或判断），是当前人工智能的根本内涵。**
- ◆ **这就解释了为什么有大数据、有高性能的计算机、有有效的算法构成了当前人工智能的三大基础。**
- ◆ **严格地讲，大数据的含义是包含做出最佳决策或响应所需要的充分信息。否者，决策结果质量就会降低，甚至做出错误决策。**

目录

- ◆ 一、概述
- ◆ 二、AI/ML的发展概况
- ◆ 三、AI/ML的本质问题
- ◆ 四、勘探地震数据分析的本质问题
- ◆ 五、总结与讨论



◆二、AI/ML的发展概况

这个说法好！人工智能是模仿自然智能的基础上发展出来的新的智能形式。它超越人类智能是完全正常的。

勘探地震中，人工智能如何应用要特别小心！不能掉到“假大空”的陷阱，劳民伤财！

◆“人工智能”的各种定义：

◆涂序彦：

- ◆“人工智能”是“自然智能”（特别是“人的智能”）的模拟、延伸或扩展。
- ◆“人工智能”研究：“机器智能”与“智能机器”。

◆百度百科：

- ◆人工智能是“研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学”。

◆维基百科：

- ◆人工智能即机器展现出的智能。

◆我的观点：

- ◆人工智能是指在理解智能的基础上，用人工方法（计算机+算法）所实现的智能。

◆剑桥AI报告：

- ◆ **Artificial intelligence (AI):** A broad discipline with **the goal of creating intelligent machines**, as opposed to the natural intelligence that is demonstrated by humans and animals.



这个说法不太好!

◆二、AI/ML的发展概况

◆“人工智能”的各种定义:

- ◆人工智能 (Artificial Intelligence) , 英文缩写为AI。它是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。
- ◆它企图了解智能的实质, 并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器, 该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。
- ◆人工智能是对人的意识、思维的信息过程的模拟。人工智能不是人的智能, 但能像人那样思考、也可能超过人的智能。
 - ◆清华大学教材
- ◆人工智能模仿的不仅仅是人的智能, 还包括所有其他类型的自然智能, 只要它们有值得借鉴或模仿的地方。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的历史：狭义人工智能：

- ◆英国科学家图灵于1936年提出“理论计算机”模型，被称之为“图灵机”（Turing Machine），创立了“自动机理论”。
- ◆1950年，图灵发表了著名论文《计算机能思维吗？》，明确地提出了“机器能思维”的观点。
- ◆1943年，美国科学家麦卡洛克（W. S. McCulloch）、匹茨（W. H. Pitts）研制出世界上第一个人工神经细胞模型，被称之为“MP模型”。从仿生学观点，以结构模拟方法，探讨人工智能的途径。
- ◆1948年，美国科学家维纳等创立了“控制论”（Cybernetics），研究动物与机器中的控制和通讯的共同规律，在生物科学与工程之间架起了学术桥梁，开拓了从行为模拟观点研究人工智能的园地。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的历史：狭义人工智能：

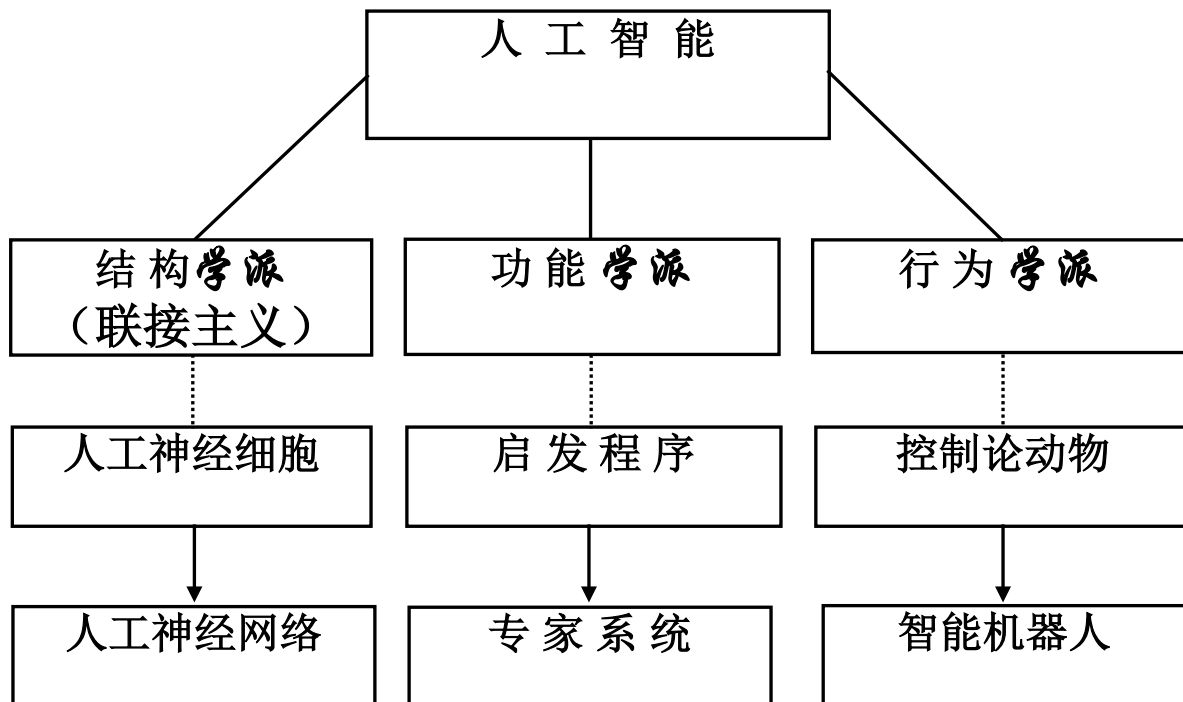
- ◆1956年夏季，在美国达特摩斯（Dartmouth）大学，由麦卡赛（J.McCarthy）、明斯基（M.L.Minsky），香农等发起，由西蒙（H.A.Simon）、塞缪尔（A.L.Samuel）、纽厄尔（A.Newell）等参加，举行了关于“如何用机器模拟人的智能”的学术研讨会，第一次正式采用“**人工智能**”（**Artificial Intelligence**）的术语。这次具有历史意义的、为期两个月之久的学术会议，标志着“**人工智能**”新学科的诞生。
- ◆1969年，国际人工智能联合会（International Joint conference on Artificial Intelligence）成立，简称IJCAI。1970年，IJCAI主办的会刊<人工智能>创刊。
- ◆1981年，**中国人工智能学会**（Chinese Association of Artificial Intelligence）成立，简称**CAAI**。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的历史：狭义人工智能：

◆人工智能的学派分支





80年代以前，探索用逻辑关系演绎实现人工智能。目前，被数据驱动的ANN实现AI的技术路线超越（或者说击败！）

◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的历史：狭义人工智能：

◆启发程序→专家系统（功能学派）

◆启发程序 (Heuristic program) :

- ◆ **国际**第一个启发程序是“逻辑理论机” (Logic Theory Machine)，简称为“LT”。1956年由美国纽厄尔、西蒙、肖合作研制，证明38条定理。
- ◆ 1960年，华裔美国逻辑学家**王浩**提出了命题逻辑的机器定理证明的新算法，用计算机证明了集合论的300多条定理。
- ◆ 1965年，罗宾逊提出了“消解原理”，简化了判定步骤，推动了基于谓词逻辑的机器定理证明的进展。
- ◆ 1977年，**我国**人工智能学家**吴文俊**提出了初等几何判定问题的机器定理证明方法，并推广到初等微分几何、非欧几何领域，被称为“**吴氏方法**”。

◆专家系统 (Expert System) :

- ◆ **国际**第一个化学分析专家系统DENDRAL 1968年由美国人工智能学家费根鲍姆1968年等研制成功，可用于化学分析。
- ◆ 医疗专家系统MYCIN 由斯坦福大学肖特利夫等，1976年研制成，可用于血液感染病的诊断、治疗和咨询。
- ◆ 地质勘探专家系统 (PROSPECTOR) ， 1981年由斯坦福研究所 (SRI) 杜达等研制，成功应用于地质勘测数据分析，探查矿床的类型、蕴藏量、分布。
- ◆ **我国**第一个专家系统“**中医关幼波肝炎诊断治疗程序**”，由中国科学院自动化研究所涂序彦、郭荣江等与北京市中医院合作，1977年研制成功，应用于**肝炎门诊**，这也**国际**第一个中医专家系统。



这是当前实现AI的基本路线。有专家认为：**AI=DL**

◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的历史：狭义人工智能：

◆人工神经细胞→人工神经网络（结构学派）

◆人工神经细胞 (Artificial Neural Cell)

◆ 1943年，麦卡洛克、匹茨研制的“MP”模型，是人工神经细胞模型的奠基性成果，是从脑细胞结构原型,探讨人工智能的开创性工作。

◆“人工神经网络” (Artificial Neural Network)：

◆ 1957年罗森勃拉特等研制“感知机”，1969年，明斯基出版了专著：Perceptron

◆ 1982年，荷普菲尔德提出Hopfield型的网络，成功地求解了计算复杂度为NP完全的“旅行商”问题

◆ 1986年，鲁姆哈特等研制出新一代的多层感知机，称之为“反向传播神经网络 (Back- Propagation)，简称“BP”网络

◆ 1987年，首届国际人工神经网络学术大会在美国的圣迭戈举行，成立了“国际神经网络协会” (International Neural Network Society) 简称INNS。

◆ 1980年，涂序彦、郭荣江等出版《生物控制论》，研究人工神经网络和神经控制论。

◆ 1991年，首届中国人工神经网络学术大会在北京举行。

◆ 2000年后，CNN、RNN、强化学习、迁移学习、深度学习等



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的历史：狭义人工智能：

◆控制论动物→智能机器人（行为学派）

◆控制论动物 (Cybernetic Animal)

◆1952年，信息论创始人香农研制的机器老鼠，模拟老鼠在“迷宫”中寻找通路的反射行为和学习功能，称为“**香农老鼠**”，是第一个著名的控制论动物。是“自学习机器”先驱。

◆智能机器人 (Intelligent Robot)：

◆1968年，麦卡锡 (J. McCarthy) 等研究了智能机器人的视觉和听觉，利用斯坦福大学的“手一眼”机器人进行了实验，可根据红、黄、绿、白四种颜色，将积木进行分类识别，装卸、堆放。

◆1991年，在国际人工智能联合会 (IJCAI)，麻省理工学院的布鲁克斯表演了新型智能机器人，能在未知的动态环境中漫游。

◆1977年，中国科学院自动化研究所在国内率先开展了“**智能控制**”理论方法和技术的研究；

◆80年代，我国高等院校和研究机构在智能机器人的研究开发方面，取得了丰硕的成果。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的现状：广义人工智能：

◆“广义人工智能”的概念涵义：

◆“人工智能”学科已从学派分歧的、不同层次的、传统的“狭义人工智能”，走向多学派兼容、多层次结合、多智体协同的、现代的“广义人工智能”。

◆“广义人工智能”GAI的涵义如下： $GAI = MSAI + MLAI + MAAI$

◆MSAI -- 多学派人工智能

◆兼容功能学派、结构学派、行为学派的人工智能

◆MLAI -- 多层次人工智能

◆思维层、感知层、行为层结合的人工智能

◆MAAI -- 多智体人工智能

◆基于“多智体”(Multi-Agent)的、网络的、群体的、分布式人工智能人工智能的学派分支

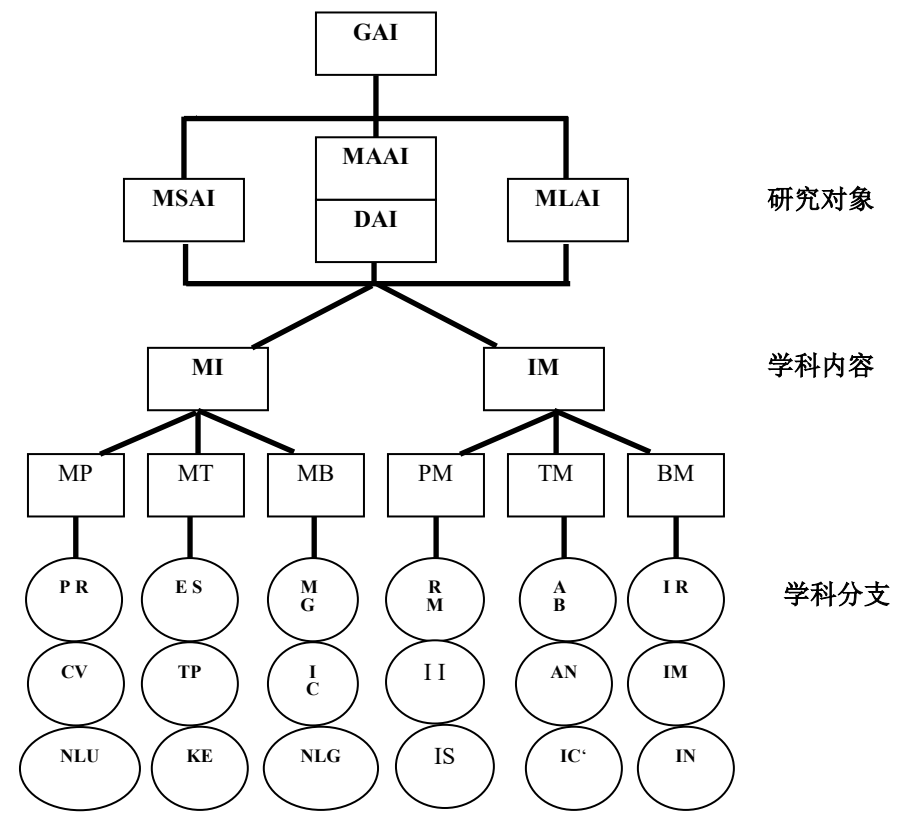


◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的现状：广义人工智能：

◆ “广义人工智能”的学科体系：**MSAI**多学派人工智能，**MLAI**多层次人工智能，**MAAI**多智体人工智能。

- ◆ **MI** --- 机器智能
 - ◆ **MP**— 机器感知，**MT**— 机器思维，**MB** — 机器行为
- ◆ **IM** --- 智能机器
 - ◆ **PM** — 感知机器，**TM** — 思维机器，**BM** — 行为机器
- ◆ **MP**— 机器感知
 - ◆ **CV**—计算机视觉，**PR**—模式识别，**NLU**—自然语言理解
- ◆ **MT** — 机器思维
 - ◆ **ES**—专家系统，**KE**—知识工程，**TP**—定理证明
- ◆ **MB** — 机器行为
 - ◆ **MG** — 机器博弈，**IC**—智能控制，**NLG**—自然语言生成
- ◆ **PM** — 感知机器
 - ◆ **II** — 智能仪表，**RM** —识别机器，**IS**—工程感觉装置
- ◆ **TM** — 思维机器，
 - ◆ **AN** —人工神经网络，**ICM**—智能计算机，**AB**—人工脑
- ◆ **BM** — 行为机器
 - ◆ **IR**—智能机器人，**IMM**—智能操作机，**ICM**—智能控制器



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的现状：广义人工智能：

◆“广义人工智能”的理论基础

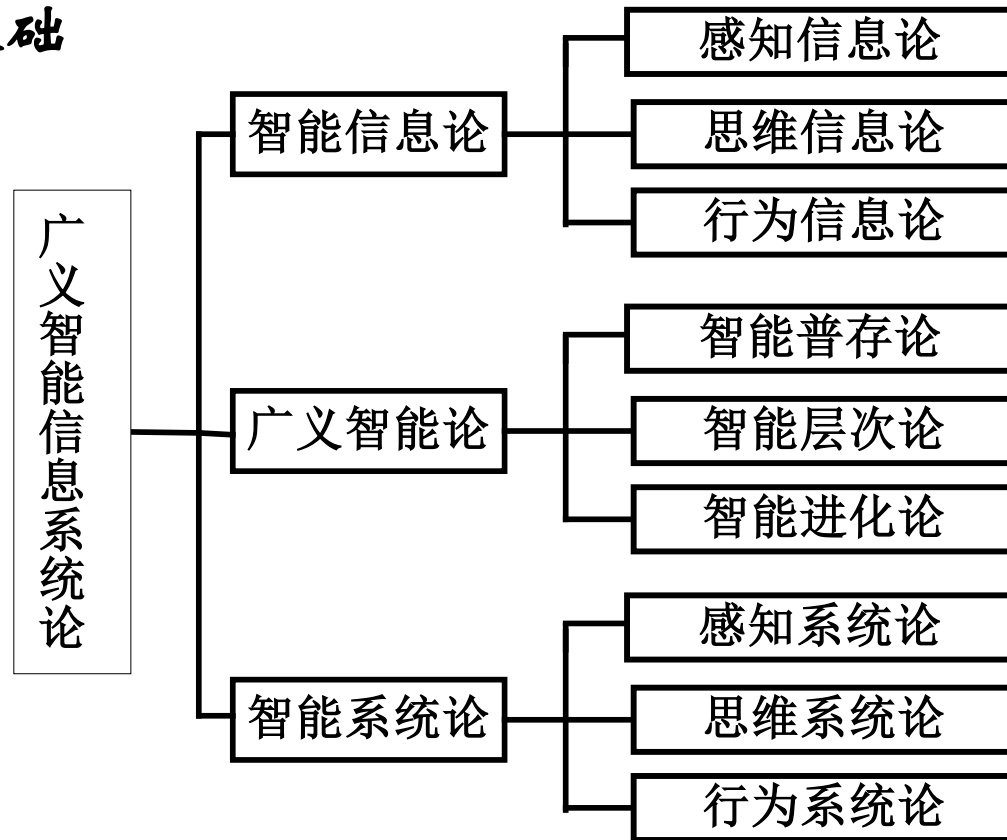


图3.4 “广义智能信息系统论”初步构架



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的现状：广义人工智能：

◆“广义人工智能”的理论基础

◆广义人工智能的理论基础是**广义智能信息系统论**。其中包括：

- ◆ 1, **广义智能论**包括：**智能普存论、智能层次论、智能进化论**，研究广义智能的**普存性、层次性、进化性**的理论和**方法**，是广义人工智能研究和开发的前提条件。
- ◆ 2, **智能信息论**包括：**感知信息论、思维信息论、行为信息论**，研究**感知、思维、行为活动过程**，如，文字、图象、声音、语言等多媒体信息的感知，联想、学习、推理等思维过程，说话、行走、运动、操作过程，广义信息获取、存储、传递、变换、处理的理论和**方法**。
- ◆ 3, **智能系统论**包括：**感知系统论、思维系统论、行为系统论**，研究**感知系统、思维系统、行为系统的建模、分析和设计**的理论和**方法**。如，视觉、听觉、嗅觉、触觉系统及多感知系统的多媒体信息融合及情景协同；逻辑思维、形象思维、创新思维及群体思维系统的协同解题与智能集成；机器人的行动规划、运动控制，语言生成系统及其相互配合与协调控制。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的现状：广义人工智能：

◆广义人工智能的科学方法

◆1, 多学科协同

◆广义人工智能是跨学科的综合性边缘学科，需要采取信息科学、系统科学、思维科学、生物科学、行为科学等多学科协同的科学方法。

◆2, 多途径结合

◆广义人工智能是对广义自然智能的模拟、延伸和扩展，需要采取功能模拟、结构模拟、行为模拟等定性研究与定量分析，综合集成的多途径结合的科学方法。

◆3, 多学派兼容

◆广义人工智能的研究开发，应当也需要采取符号主义，联结主义，行为主义等多学派兼容的科学方法。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆智能科学技术的概念涵义

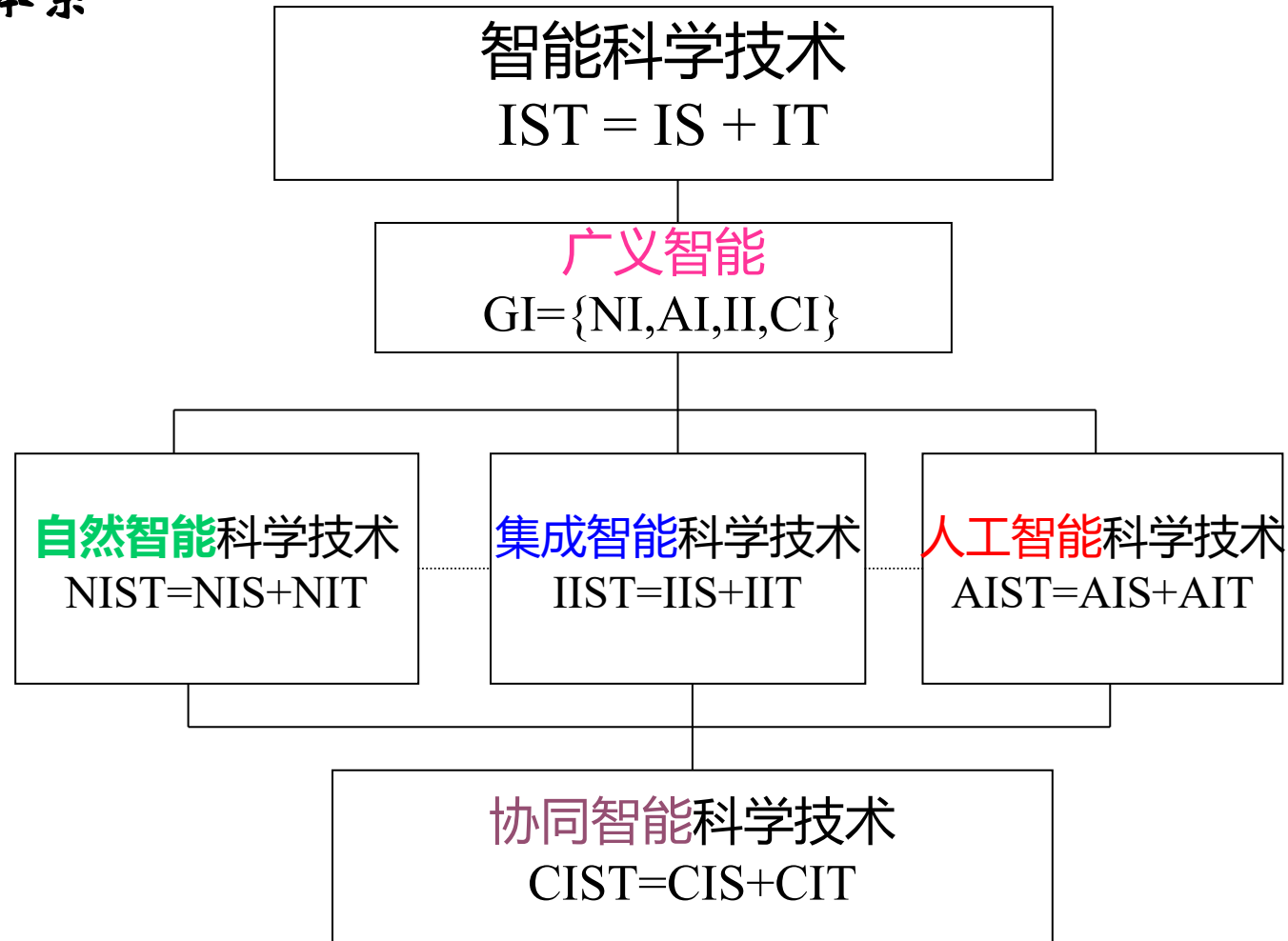
- ◆ “智能科学技术” 协同地、综合地研究 “自然智能”、“人工智能”，开发人机“集成智能”、群体“协同智能”的理论方法和实现技术，有助于生物科学技术与工程科学技术的相互渗透、交流合作，推动信息科学技术、系统科学技术、计算机科学技术、自动化科学技术的新发展。
- ◆ “智能科学技术” 研究开发具有重大的科学意义和广泛的应用价值，如：
 - ◆1，为研究 “人工智能” 提供新思想，新启迪；
 - ◆2，为研究 “自然智能” 提供新模型，新方法；
 - ◆3，为研究开发人机 “集成智能” 提供新方法，新技术；
 - ◆4，研究开发群体 “协同智能” 提供新理论，新方法



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆智能科学技术的学科体系





◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆智能科学技术的理论基础

- ◆ “智能科学技术” (Intelligence Science & Technology) , 简称IST。其学科包括：智能科学IS、智能技术IT两个层次。
- ◆ “广义智能学” (Generalized Intelligenics) 提出和研究之目的在于:为 “智能科学技术” 的发展提供宽广的理论基础。
- ◆ “广义智能学”
 - ◆对自然智能与人工智能进行协同研究:
 - ◆探讨自然智能与人工智能的共性及其转化规律;
 - ◆研究 “人的智能” 与 “人工智能” 相结合的人机 “集成智能” ;
 - ◆开发 “个体智能” 群体协调涌现的 “协同智能” .



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆“广义智能学”的基本概念---“广义智能观”，其主要观点如下：

- ◆“智能”富于“内涵”：智慧+能力，理智+才能
- ◆“智能”基于“信息”：信息→知识→智能
- ◆“智能”源于“混沌”：混沌→（自组织）→智能
- ◆“智能”寓于“系统”：智能是系统的功能
- ◆“智能”善于“协调”：人-人协调，人-机协调，机-机协调
- ◆“智能”需于“进化”：智能需要与时俱进
- ◆“智能”待于“开拓”：低智→高智，弱智→强智，无智→有智
- ◆“智能”度于“相对”：智能具有相对性，智商测试，图灵测试
- ◆“智能”伴于“情感”：人的行为受理智、情感双重控制。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆ “广义智能学”的研究对象

◆ “广义智能”是“自然智能”、“人工智能”、“集成智能”、“协同智能”的概括，可表示为四元组集合，如式(1)所示：

$$GI = \{ NI, AI, II, CI \} \quad (1)$$

◆其中，GI--Generalized Intelligence (广义智能); NI--Natural Intelligence (自然智能); AI--Artificial Intelligence (人工智能); II--Integrated Intelligence (集成智能); CI--Cooperative Intelligence(协同智能)



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆“广义智能学”的研究对象

◆1、**自然智能**包括：人的智能、其它生物智能。

◆2、**人工智能**如：计算机智能、机器人智能等。

◆3、**集成智能**：指“**自然智能**”与“**人工智能**”通过协调配合所集成的智能，主要是“**人的智能**”与“**机器智能**”协调配合而形成的人机系统的“**集成智能**”，如式(4)所示： $HI + MI \rightarrow II$ (4)

◆其中，HI—**人的智能** (Human Intelligence)；MI—**机器智能** (Machine Intelligence)；例如：计算机、控制器、机器人的智能等；II—**集成智能** (Integrated Intelligence)；例如，人机和谐的智能CAD系统，人机协调的智能驾驶系统等。

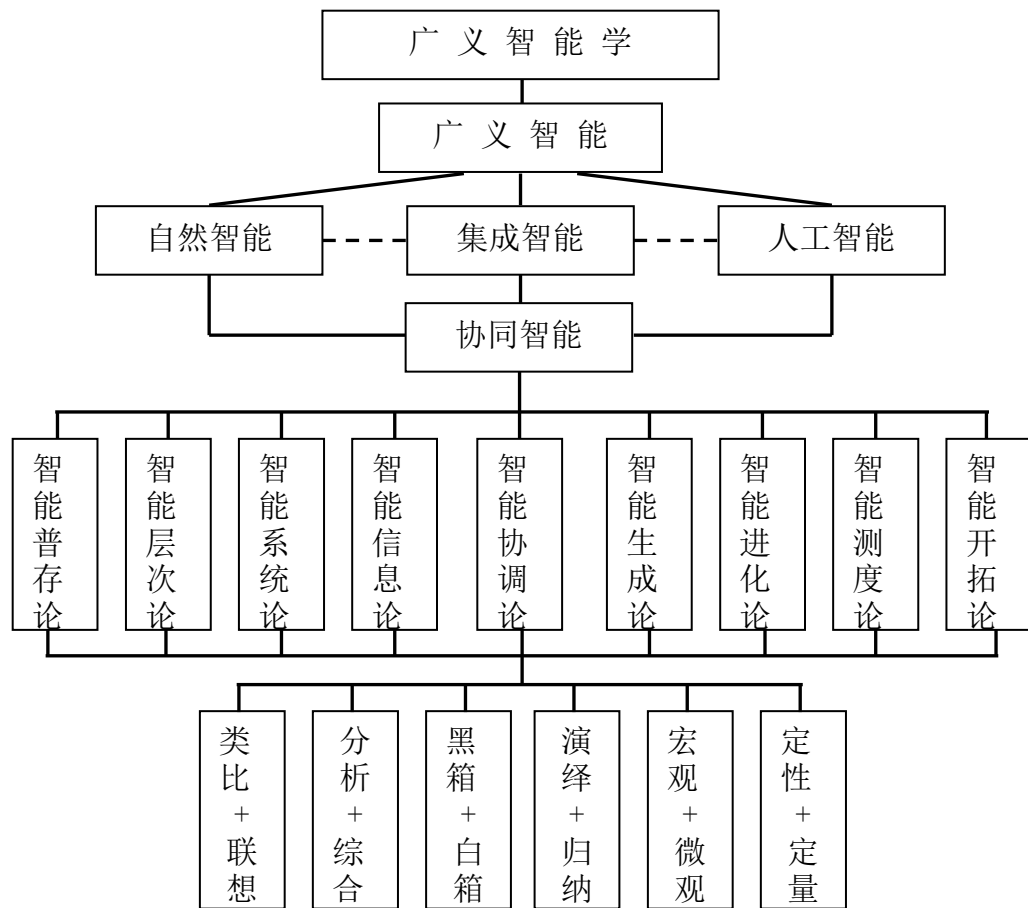
◆**协同智能**：指“**个体智能**”相互协调所涌现的群体智能，即由智能个体所组成的群体的协同智能，如式(5)所示： $P_iI + P_jI \rightarrow CI$ (5)

◆其中， P_iI , P_jI —**个体智能** (Personal Intelligence), $i, j, = 1, 2, \dots, n$ ；CI—**协同智** (Cooperative Intelligence)。例如，国际体育团体竞标赛中的篮球队、排球队、足球队的人群协同智能；蚁群、蜂群、鸟群的协同智能；计算机网络的分布式协同人工智能、国际机器人足球赛中的机器人团队的协同机器智能等。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术---“广义智能学”的学科体系



研究对象

基本内容

研究方法



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆“广义智能学”的学科体系：

◆ 1) 自然智能学

- ◆ “自然智能学” (Natural Intelligenic) 在心理学、生理学、行为学、社会学与生物控制论、生物信息学等学科基础上,研究“人的智能”及其他“生物智能”的“个体智能”、“群体智能”的基本概念和特性, 存在性、层次性、相对性, 产生形成、协调协同、进化开拓、评价测度、信息处理、系统构成的机制和理论。

◆ (2) 人工智能学

- ◆ “人工智能学” (Artificial Intelligenic) 在“广义智能信息系统论”、“全信息”、“泛逻辑”、“可拓学”的基础上, 研究兼容: “功能派人工智能”, “结构派人工智能”, “行为派人工智能”, 包括: 机器智能与智能机器二方面, 思维、感知、行为三层次的“广义人工智能”的基本概念和特性, 分析设计、协调协同、进化开拓、评价测度、信息处理、系统构成、管理控制的理论和方法。

◆ (3) 集成智能学

- ◆ “集成智能学” (Integrated Intelligenic) 在“协调学”、“工程心理学”、“人机系统”的基础上, 研究“自然智能”与“人工智能”, 主要是“人的智能”与“机器智能”如何协调配合、取长补短、合理分工、智能结合, 形成“集成智能”、构成人机和谐“集成智能”系统的基本理论和方法。

◆ (4) 协同智能学

- ◆ “协同智能学” (Cooperative Intelligenic) 在“协调学”、“大系统控制论”、“分布人工智能”、“社会学”的基础上, 研究“智能个体”如何相互协调、友好协商、分工协作, 组成“智能群体”, “个体智能”相互协调, 涌现群体“协同智能”、组成分布式网络群体“协同智能”系统的基本理论和方法。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆“广义智能学”的基本内容：

◆1、“智能普存论”

◆研究：生物智能的存在模式与特性；机器智能的存在模式与特性；生物智能与机器智能的共性与差异

◆2、“智能层次论”

◆研究：思维层、感知层、行为层智能活动的模式与特征；多层智能的相互关系与协调作用；同层智能活动（如：逻辑思维、形象思维、创新思维）的相互关系与协调作用。

◆3、“智能系统论”

◆研究：群体智能与个体智能的相互关系；个体智能的协调方法与协调特性；群体智能的组织结构与分布特性



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆“广义智能学”的基本内容：

◆4、智能信息论

- ◆“智能信息论” (Intelligence Information Theory), 简称IIT。研究“广义信息”，即“全信息” (包括：语法信息、语义信息、语用信息) 的理论和方法。“广义智能”意味着“全信息”的获取、处理、利用的理智和才能，研究基于“全信息”的智能信息论。“智能”基于“信息”“知识”，基于信息和知识的获取、变换、传输、处理、加工及利用过程，思维层智能基于信息和知识的处理与加工，感知层智能基于信息和知识的获取、变换、传输，行为层智能基于信息和知识的传输及利用。

◆5、智能协调论

- ◆“智能协调论” (Intelligence Coordination Theory), 简称ICT。在“协调学”、“大系统控制论”的基础上，研究：“人的智能”与“机器智能”如何协调配合、取长补短、合理分工、智能结合，形成人机“集成智能”；“个体智能”如何相互协调、友好协商、分工协作，涌现出群体“协同智能”的理论和方法；研究多学派智能、多层次智能的协调理论和方法，是“集成智能学”与“协同智能学”的理论基础。另一方面，“智能协调论”，还研究如何应用“人的智能”和“人工智能”，实现“人机协调”、“群体协调”；避免“人机失调”、“群体失调”的理论和方法。

◆6、智能生成论

- ◆“智能生成论” (Intelligence Generation Theory), 简称IGT。研究“智能”的起源、产生、形成的理论和方法。如：自然智能，包括：人的智能及其它生物智能的起源、产生、形成的机制和理论；人工智能，包括：计算机智能及其它机器智能的产生、形成的理论和方法；人机集成智能、群体协同智能的产生、形成的理论和方法。研究如何将自然智能的生成机制引用于开发人工智能，如何用人工智能系统模拟、仿真自然智能的生成机理，研究“信息—知识—智能”演化理论。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆“广义智能学”的基本内容：

◆7、智能进化论

- ◆“智能进化论” (Intelligence Evolution Theory), 简称IET。研究：自然智能，特别是人的智能，包括：“先天智能”，基于遗传、变异的自然进化的机制；“后天智能”基于学习，训练的进化理论和方法；将自然智能进化的机制借鉴于研究人工智能的人工进化理论和方法，开发自进化的人工智能系统，研究人机集成智能、群体协同智能的协同进化理论与方法，开发协同进化的人机集成智能系统、群体协同智能系统、分布式网络智能系统。另一方面，将人工智能理论、方法用于研究人的智能进化机制，开发智能教学系统与协同智能教学系统。

◆8、智能测度论

- ◆“智能测度论” (Intelligence Measurement Theory), 简称IMT。在“人的智能”的“智商测试”理论和方法、“人工智能”的“图灵测试”理论和方法的基础上，进一步研究智能的相对性、可测性，开发适用于多层次、多类型、多方面“广义智能”，包括：自然智能、人工智能、协同智能与集成智能的测度理论与测试方法。为广义智能系统的多种智能特性的测试与智能水平的评估，提供科学的测度理论与量化的测试方法。

◆9、智能开拓论

- ◆“智能开拓论” (Intelligence Opening Theory) 简称IOT。在“可拓学”、“创新论”、“混沌论”、“突变论”等基础上，研究“广义智能”如何开拓、创新的理论和方法，一方面，研究“灵感”与“顿悟”等创新思维智能如何产生的机制与开拓的理论和方法，另一方面，研究如何从“无智”开拓为“有智”，从“低智”开拓为“高智”，从“弱智”开拓为“强智”的智能开拓理论和方法。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆“广义智能学”的基本内容：

◆因此，“广义智能学”是协同研究自然智能与人工智能、集成智能和协同智能的，包括：智能普存论、智能层次论、智能系统论、智能信息论、智能协调论、智能生成论、智能进化论、智能测度论、智能开拓论的基础理论学科。



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆“广义智能学”的研究方法：

- ◆1、“类比+联想”方法：模拟、延伸、扩展
- ◆2、“分析+综合”方法：系统→元件，元件→系统
- ◆3、“黑箱+白箱”方法：黑箱、灰箱、白箱
- ◆4、“演绎+归纳”方法：一般→特殊，特殊→一般
- ◆5、“宏观+微观”方法：宏观、中观、微观
- ◆6、“定性+定量”方法：定性→定量，定量→定性



◆二、AI/ML的发展概况

◆人工智能的前景：智能科学技术

◆“广义智能学”的科学意义：

◆研究发展“广义智能学”具有重要科学意义和应用价值，如：

- ◆1、协同研究“自然智能”与“人工智能”，
- ◆2、研究开发人机“集成智能”，
- ◆3、研究开发群体“协同智能”，
- ◆4、为研究“人工智能”提供新思路，
- ◆5、为研究“自然智能”提供新方法，
- ◆6、为发展智能科学技术提供新理论。

◆“广义智能学”协同地、综合地研究“自然智能”、“人工智能”，开发人机“集成智能”、群体“协同智能”的基础理论和方法，有助于为智能科学技术提供宽广、深厚的理论基础，促进智能科学技术的迅速发展与广泛应用。



◆二、AI/ML的发展概况

◆结论:

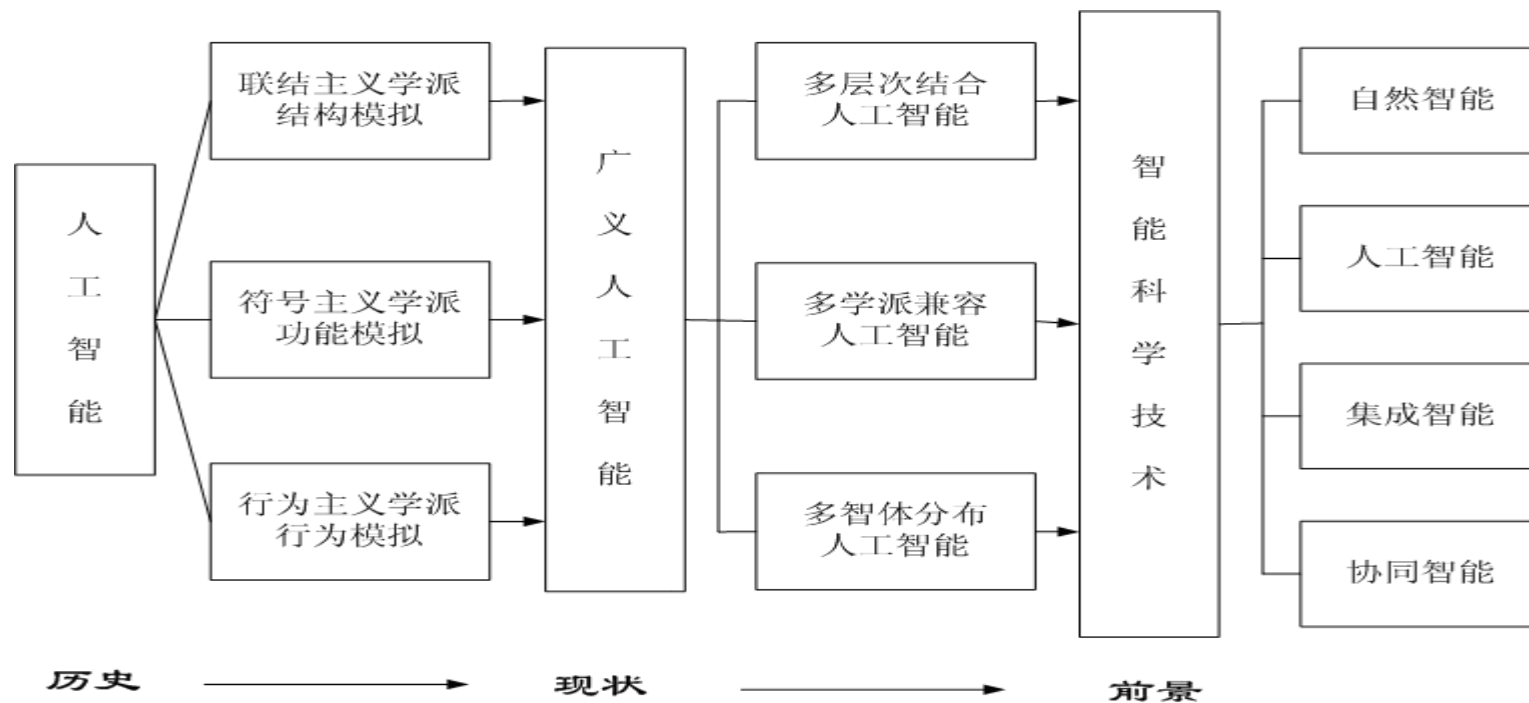
- ◆ “智能科学技术” 是 “计算机科学技术” 的前沿!
- ◆ “智能化” 是 “电脑化” 的发展方向, “电脑化” 是 “智能化” 的基础。 如: 计算智能、智能计算机、智能软件、智能计算机网络...等。
- ◆ “智能化” 已成为当前和今后各学科、各领域、各部门、各行业的新方法、新技术、新产品的发展动向、开发策略及显著标志。
 - ◆如: 智能控制、智能管理、智能决策、智能系统、智能通信、智能信息网络、智能信息对抗、智能信息处理、智能自动化、智能计算机、智能机器人、智能仪表、智能工具、智能武器、智能家电、智能游戏、智能玩具、智能交通、智能汽车、智能建筑、智能大厦、智能小区.....



◆二、AI/ML的发展概况

◆结论:

- ◆ “人工智能” 学科已从学派分歧的、“狭义人工智能” AI, 走向多学派兼容、多层次结合的“广义人工智能” GAI, 将发展成为人机集成的、群体协同的“智能科学技术” STI。





◆二、AI/ML的发展概况

◆结论：The current AI trends

□ From big data to knowledge and decision

可以看出，我们目前做的工作，基本上没有在AI的思想框架下，而是在机器学习的思想框架下。

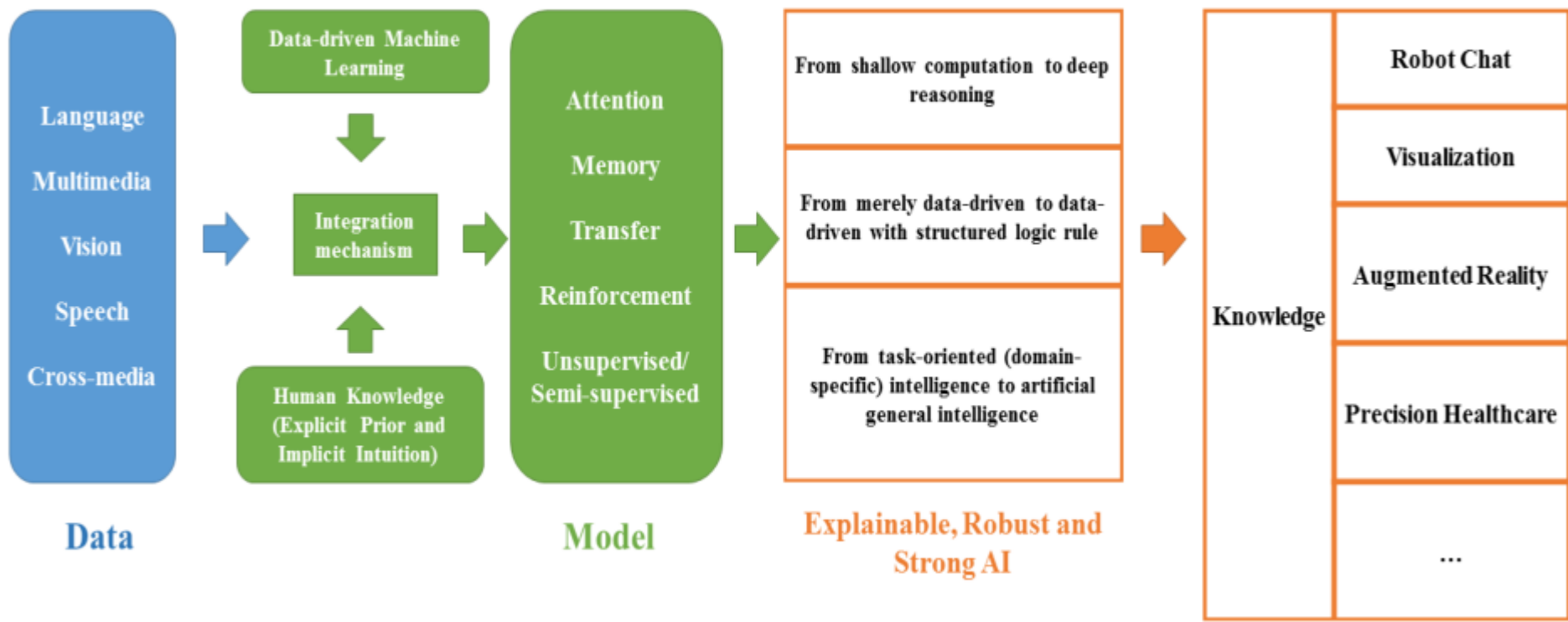


Figure The Flowchart from Data to Knowledge



◆二、AI/ML的发展概况

◆机器学习的定义：

◆ **Machine learning (ML):** A subset of AI that often uses statistical techniques to give machines the ability to “learn“ from data. This process is known as “training” a “model” using a learning “algorithm” that progressively improves model performance on a specific task. **剑桥AI报告**

◆ **Machine learning (ML):** To learn from data, and then make predictions.

◆ **Sergios Theodoridis**

◆ **Machine learning (ML):** A subject in computer science, aimed at studying theories, algorithms, and applications of systems that learn like humans.

◆ **Masashi Sugiyama**



◆二、AI/ML的发展概况

◆机器学习的定义：

- ◆机器学习是近20多年兴起的一门多领域交叉学科，涉及概率论、统计学、逼近论、凸分析、算法复杂度理论等多门学科。机器学习理论主要是设计和分析一些让计算机可以自动“学习”的算法。[维基百科](#)
- ◆机器学习算法是一类从数据中自动分析获得规律，并利用规律对未知数据进行预测的算法。因为学习算法中涉及了大量的统计学理论，机器学习与统计推断学联系尤为密切，也被称为统计学习理论。[维基百科](#)



◆二、AI/ML的发展概况

◆Machine Learning --- A Bayesian and optimization perspective

◆Sergios Theodoridis

◆Chapter 1 Introduction

◆Chapter 2 Probability and Stochastic Processes

◆Chapter 3 Learning in Parametric Modeling: Basic Concepts and Directions

◆Chapter 4 Mean-Square Error Linear Estimation

◆Chapter 5 Stochastic Gradient Descent: The LMS Algorithm and its Family

◆Chapter 6 The Least – Square Family

◆Chapter 7 Classification: A Tour of the Classics

◆Chapter 8 Parameter Learning: A convex Analytic Path

◆Chapter 9 Sparsity-Aware Learning: Concepts and Theoretical Foundations



◆二、AI/ML的发展概况

◆Machine Learning --- A Bayesian and optimization perspective

◆Sergios Theodoridis

◆Chapter 10 Sparsity - Aware Learning: Algorithms and Applications

◆Chapter 11 Learning in Reproducing kernel Hilbert Spaces

◆Chapter 12 Bayesian Learning: Inference and the EM Algorithms

◆Chapter 13 Bayesian Learning: Approximation Inference and Nonparametric models

◆Chapter 14 Monte Carlo Methods

◆Chapter 15 Probabilistic Graphical Models: Part I

◆Chapter 16 Probabilistic Graphical Models: Part II

◆Chapter 17 Particle Filtering

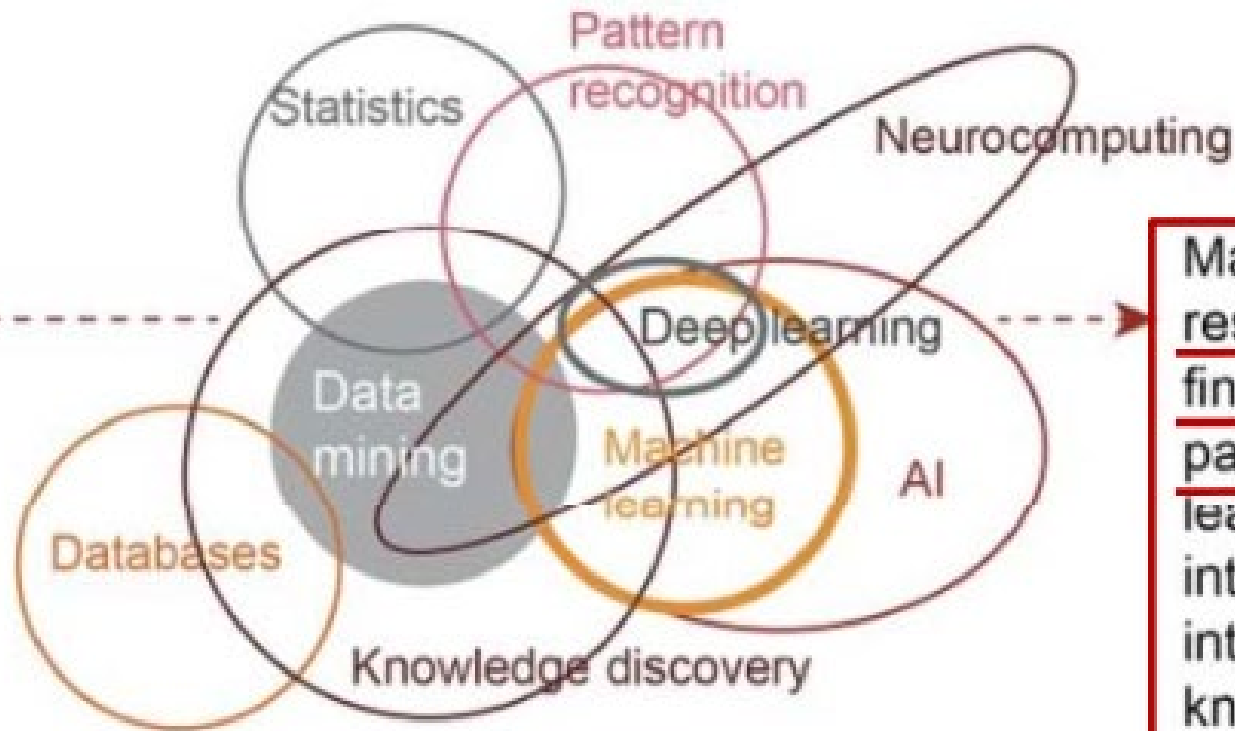
◆Chapter 18 Neural Networks and Deep Learning

◆Chapter 19 Dimensionality Reduction

◆二、AI/ML的发展概况

◆AI与Machine Learning

How does machine learning relate to artificial intelligence?



Machine learning is a category of research and algorithms focused on finding patterns in data and using those patterns to make predictions. Machine learning falls within the artificial intelligence (AI) umbrella, which in turn intersects with the broader field of knowledge discovery and data mining.

Source: SAS, 2014 and PwC, 2016

◆二、AI/ML的发展概况

◆AI与Machine Learning

Artificial Intelligence (AI) → Machine Learning (ML)

The basics of how AI works

Artificial Intelligence can help to make the humanly impossible possible, but what are the main principles that make this a reality?



Big data: AI can amass huge amounts of data and analyse it very quickly - something which is not possible for a human to do, no matter how clever they are!



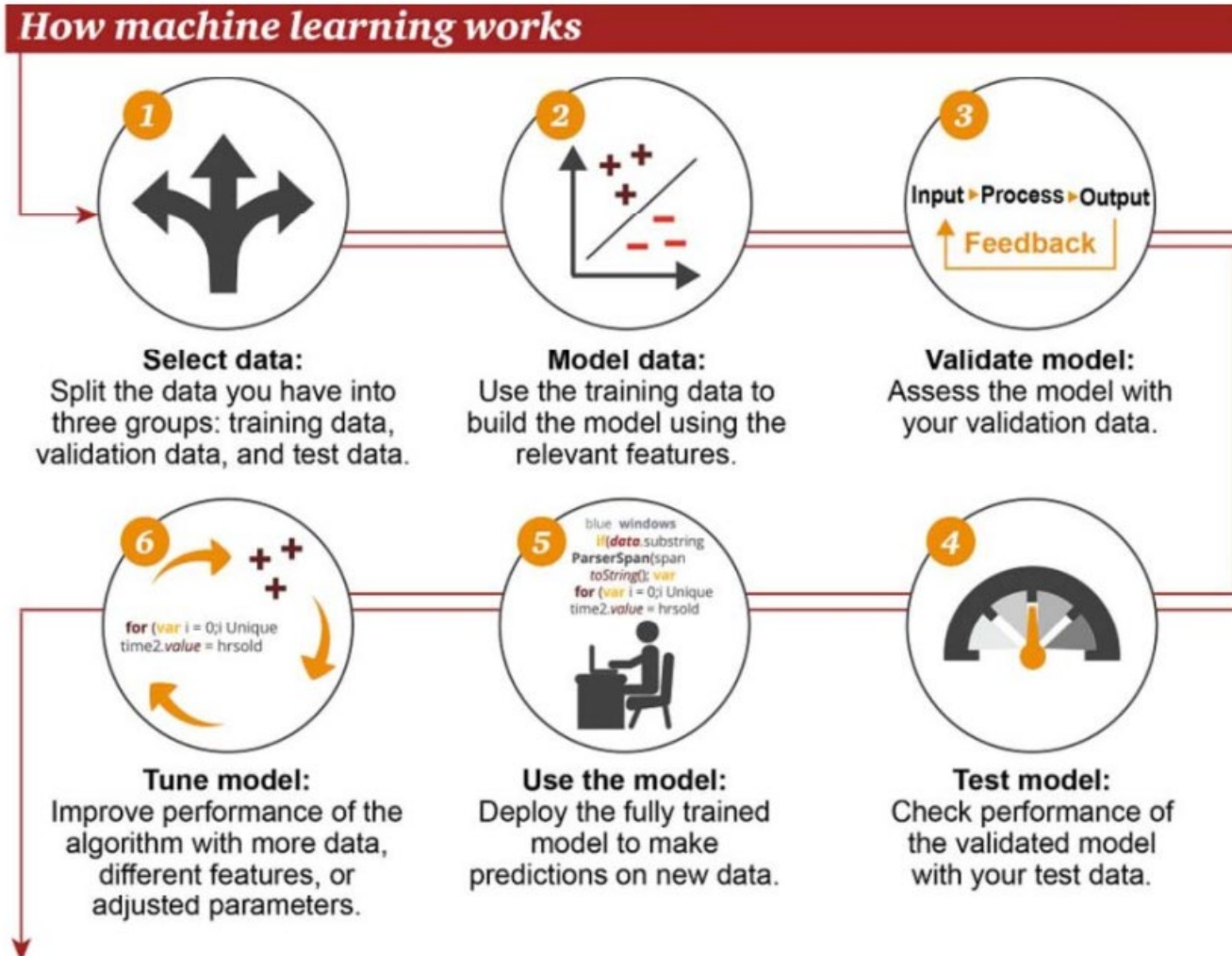
Machine learning: like people, AI (the machine) can learn through its own experience - so the more you use it, the better it gets.



Algorithms: algorithms are the backbone of AI because they are a set of instructions for the machine to follow.

◆二、AI/ML的发展概况

◆AI与Machine Learning



◆二、AI/ML的发展概况

AI/ML Machine Learning

机器学习发展的五个途径

The Five Tribes of Machine Learning

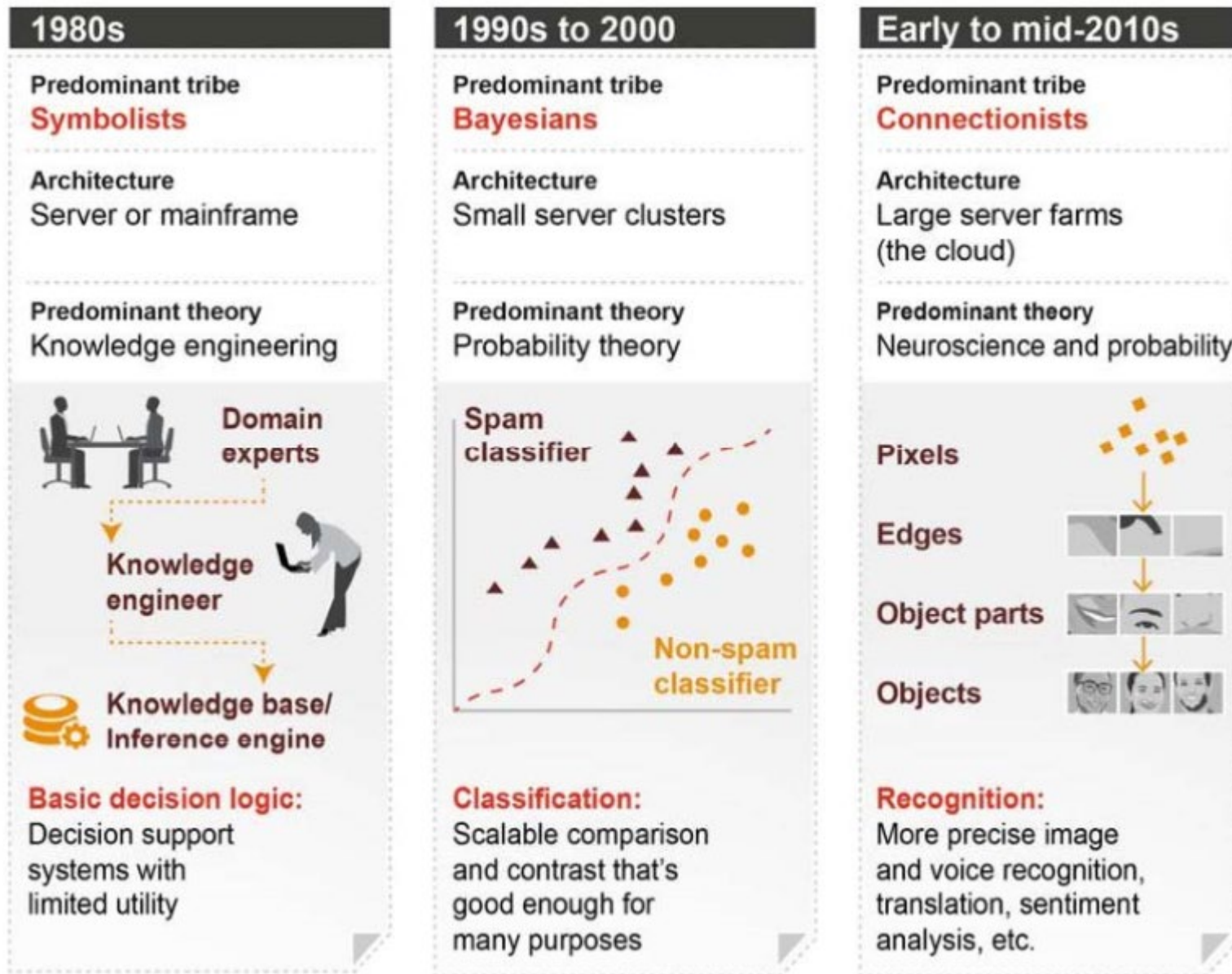
Tribe	Origins	Master Algorithm
Symbolists	Logic, philosophy	Inverse deduction
Connectionists	Neuroscience	Backpropagation
Evolutionaries	Evolutionary biology	Genetic programming
Bayesians	Statistics	Probabilistic inference
Analogizers	Psychology	Kernel machines

<p>Symbolists</p> <p>Use symbols, rules, and logic to represent knowledge and draw logical inference</p> <p>专家系统</p> <p>Favored algorithm Rules and decision trees</p>	<p>Bayesians</p> <p>Assess the likelihood of occurrence for probabilistic inference</p> <p>Favored algorithm Naive Bayes or Markov</p>	<p>Connectionists</p> <p>Recognize and generalize patterns dynamically with matrices of probabilistic, weighted neurons</p> <p>Favored algorithm Neural networks</p>	<p>Evolutionaries</p> <p>Generate variations and then assess the fitness of each for a given purpose</p> <p>遗传演化</p> <p>Favored algorithm Genetic programs</p>	<p>Analogizers</p> <p>Optimize a function in light of constraints ("going as high as you can while staying on the road")</p> <p>Favored algorithm Support vectors</p>
---	--	--	---	---

Source: Pedro Domingos, *The Master Algorithm*, 2015

◆二、AI/ML的发展概况

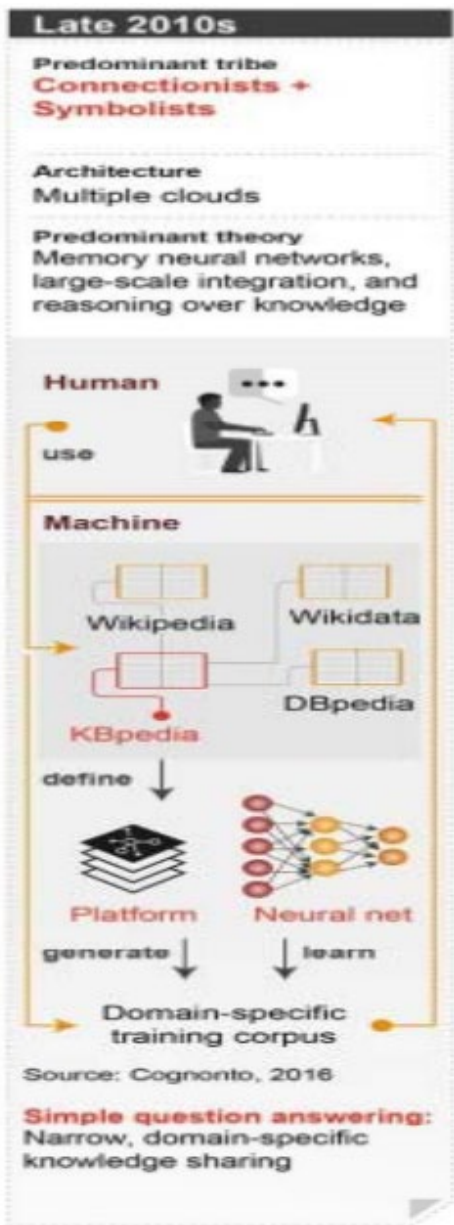
机器学习的发展进程



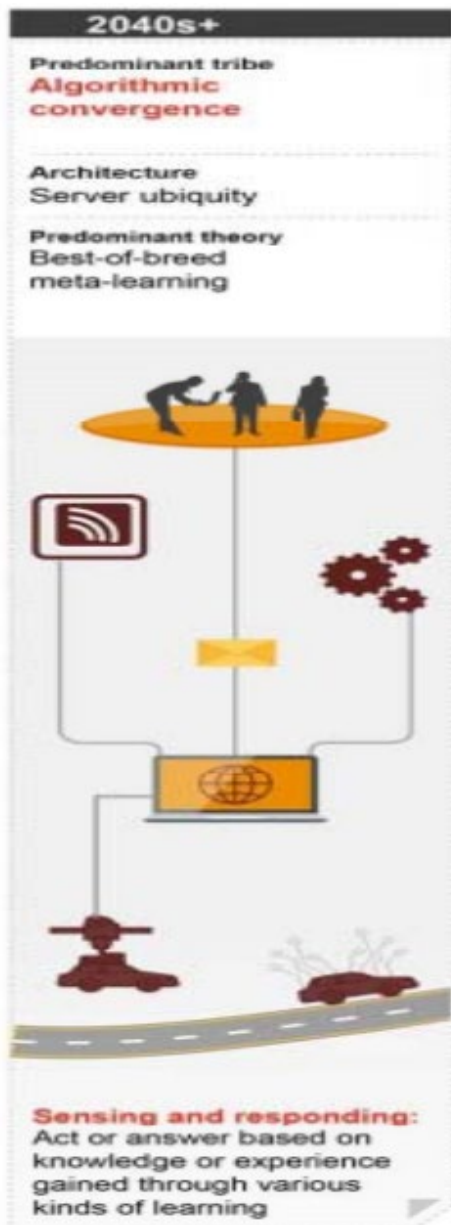
AI/ML Machine Learning

◆二、AI/ML的发展概况

机器学习的发展进程



Source: PwC, 2016

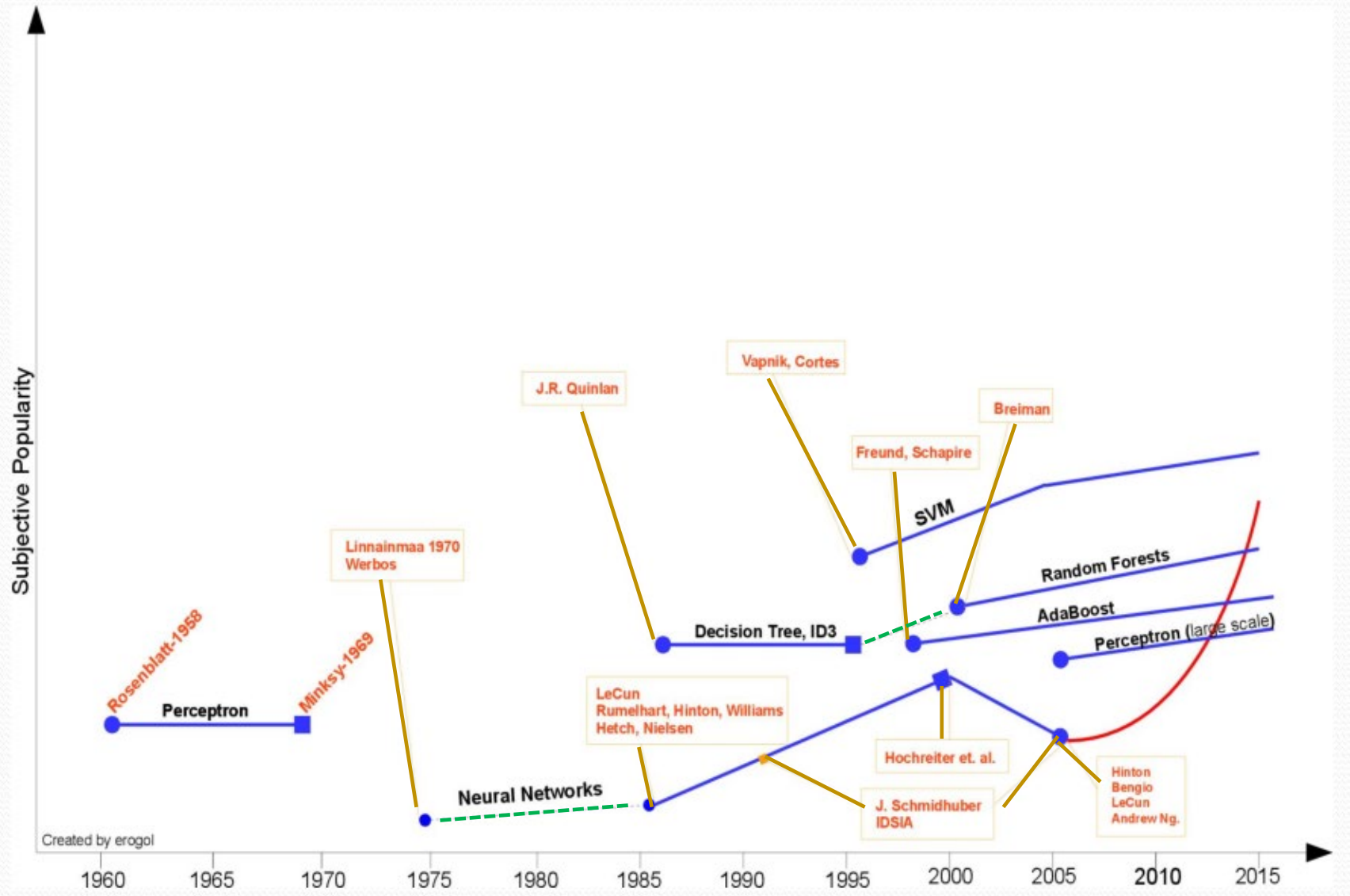


AI/ML Machine Learning



◆二、AI/ML的发展概况

◆机器学习的发展历史：





◆二、AI/ML的发展概况

◆机器学习新方向:

◆集成学习

◆可扩展机器学习 (对大数据集、高维数据的学习等)

◆强化学习

◆迁移学习

◆概率网络

◆深度学习



◆二、AI/ML的发展概况

◆我给出的定义：

- ◆机器学习：基于Bayes理论，从数据中挖掘出用于决策的信息，并试图给出最佳决策的一系列算法。最终目的是训练出一个可以泛化应用的学习机器。



◆二、AI/ML的发展概况

◆关于数据到知识的箴言：

In God we trust, all others bring data.

– *William Edwards Deming*

*We are drowning in information
and
starving for knowledge.*

–Rutherford D. Roger

目录

- ◆ 一、概述
- ◆ 二、AI/ML的发展概况
- ◆ 三、AI/ML的本质问题
- ◆ 四、勘探地震数据分析的本质问题
- ◆ 五、总结与讨论



◆三、 AI/ML的本质问题

◆智能的本质是什么？我认为**智能的本质是感知环境、理解环境、最佳决策、合理行动。**

◆智能的定义：行为体依据“环境”或“请求”做出最佳决策（或响应）的能力。**我给出的定义。**

◆“人工智能AI”是“**自然智能**”（特别是“**人的智能**”）的模拟、延伸或扩展。

◆“人工智能AI”研究：“**机器智能**”与“**智能机器**”。



◆三、 AI/ML的本质问题

◆计算机时代，所谓的环境就是广义的数据（环境=广义的数据），包括有结构的数据（产生自物理系统的数据）和无结构的数据。

◆当今社会收集的大数据，85%以上是无结构数据。

◆感知环境、理解环境、最佳决策就是机器学习算法要解决的问题。

◆机器学习算法是AI实现的核心基础。



◆三、 AI/ML的本质问题

◆ML = Learning From Data。 可以大致这样看！

◆Machine Learning \approx Statistical Learning

◆关于数理统计的箴言：

◆The quiet statisticians have changed our world; not by discovering new facts or technical developments, but by changing the way that we reason experiment and form our opinions

◆Ian Hacking

◆三、 AI/ML的本质问题

◆ “数据” 中有什么？ 数据能告诉我们什么？

◆ 广义的 “数据” 中， 蕴含着信息， 也蕴含着知识。

◆ 面向 “知识” 的Learning From Data， 寻找因果关系， 更多属于AI的范畴。

◆ 狭义的 “数据” 中， 蕴含着结构， 蕴含着 “特征” 。

◆ 面向 “特征” 的Learning From Data， 寻找相关关系， 更多属于ML的范畴。



◆三、 AI/ML的本质问题

- ◆把AI提成基本等价于深度学习是当前很多顶级AI专家的基本观点。
- ◆这样的观点不是没有道理的！
- ◆这样的观点也不是不令人怀疑的！真的走在了发展AI的正确道路上了吗？
- ◆只是我们没有弄明白人脑的学习机制，当前的神经网络算法存在问题。
- ◆当前的神经网络算法靠硬算，巨大的计算能力、巨大的电力消耗，基于特征表达，依赖大量的标签样本，建立数据与决策目标之间的关系，然后进行泛化应用。学习时间短、成长快，没有个体差异性！
- ◆人脑算法不依赖硬算，不依赖大数据（根本不擅长大数据挖掘！），靠高度互联，靠非线性映射，对图像、语言、情感等有远超AI的响应能力。学习时间长，成长慢，有个体差异性！

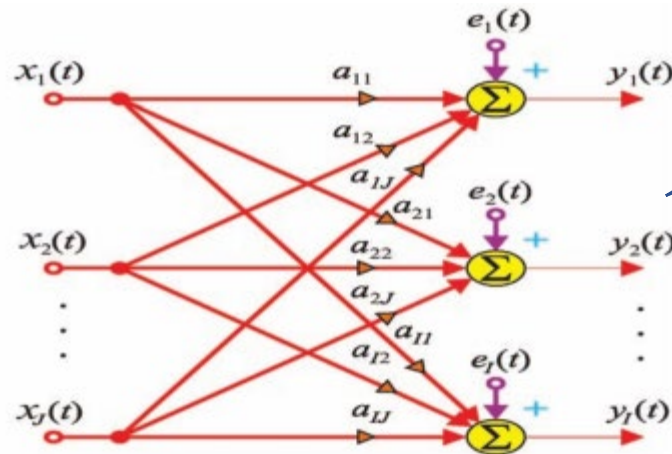
◆三、 AI/ML的本质问题

◆线性反演问题的网格计算模式：

◆线性模型：

$$y(t) = Ax(t) + e(t), \quad (t = 1, 2, \dots, T),$$

◆网络计算模式：



全连接、线性网络结构

◆三、 AI/ML的本质问题

◆对于有结构的物理系统产生的数据，基于Bayes参数估计理论的参数化建模方法是根本性的方法。

◆非学习类算法的三种典型反问题模型：

◆图像处理中ROF模型： $J(\mathbf{u}) = \frac{1}{2}(\mathbf{A}\mathbf{u} - \mathbf{g})^2 + \alpha TV(\mathbf{u})$ 。对于图像去噪问题， $\mathbf{A} = \mathbf{I}$ （单位矩阵）。

◆信号处理中去噪或反褶积模型： $J(\boldsymbol{\beta}) = \frac{1}{2}(\Psi\boldsymbol{\beta} - d^{obs})^2 + \alpha |\boldsymbol{\beta}|_1$ 。

◆物理系统参数估计模型： $J(\mathbf{m}) = \frac{1}{2}(\mathbf{A}(\mathbf{m}) - d^{obs})^2 + \alpha \Omega(\mathbf{m})$ 。 $\Omega(\mathbf{m})$ 代表不同形式的正则化方式。



ANN/DNN仅仅是一个网络结构!

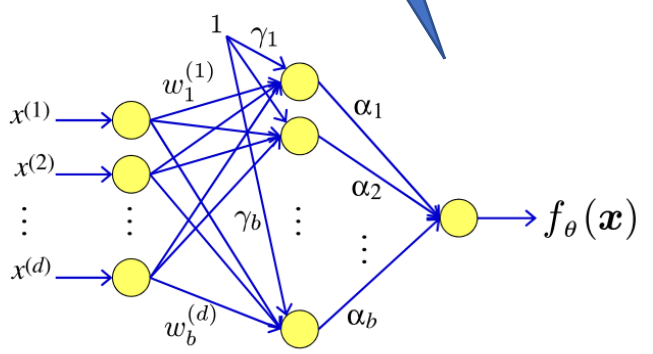
三、AI/ML的本质问题

ANN/DNN网络计算模式:

- ◆ ANN是一种分布并行算法。ANN模仿人脑计算的功能，是一种智能算法。
- ◆ ANN的目的是建立起“广义数据”与决策目标之间的非线性映射关系

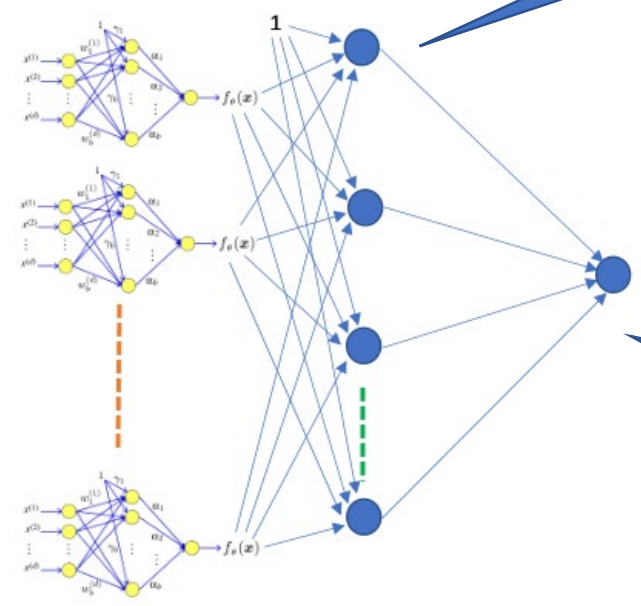
并非一定全连接、非线性网络结构

该图的具体意义可以解释为：由输入来逼近输出，按照对人脑神经元的抽象，应该是输入向量的加权叠加结果通过一个非线性的基函数产生输出，所有非线性的基函数的线性组合，形成对输出的逼近。



$$f_{\theta}(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^b \alpha_j \phi(\mathbf{x}; \beta_j)$$

$$\phi(\mathbf{x}; \beta) = \frac{1}{1 + \exp(-\mathbf{x}^T \mathbf{w} - \gamma)}, \beta = (\mathbf{w}^T, \gamma)^T$$



事实上，把每个人工神经元的输出合起来记为向量 $\tilde{\mathbf{x}} = (f_{\theta}^1(\mathbf{x}), f_{\theta}^2(\mathbf{x}), \dots, f_{\theta}^b(\mathbf{x}))$ ，则有下一层的组合神经元的输出为

$$\tilde{f}_{\theta}(\tilde{\mathbf{x}}) = \sum_{j=1}^b \alpha_j \phi(\tilde{\mathbf{x}}; \beta_j) \quad (3)$$

如此一个嵌套模型，构成了人工神经网络的数学模型。它的数学含义可以理解为建立了输入 \mathbf{x} 与输出 \mathbf{y} 之间的映射关系。这应该是一种非线性关系。

输入与输出间的非线性预测关系的建立，是函数逼近问题。但是，对于复杂的函数形式，即便实现了最佳的逼近，也不一定能进行有效的泛化应用。

◆三、 AI/ML的本质问题

◆ANN/DNN:

- ◆人工神经网络是由高度抽象的、人工神经元构成的网络。本质上，这是一个计算模型。不过它仿生模拟了人脑神经元及人脑神经网络。
- ◆事实上，是否真的仿生模拟了人脑神经元及人脑神经网络还很难说。
- ◆经验地讲，很多仿生优化算法还是有比较好的结果的。
- ◆既然人脑神经元构成的网络有如此强大的学习、联想、推断和决策能力，可以期望人工神经网络也应该有比较好的性能。

◆三、AI/ML的本质问题

◆ANN/DNN:

- ◆单个人工神经元的数学模型是描述由输入函数 x 到输出函数 y 之间关系的数学模型。我认为这个描述是没有问题的。输出函数 y 与输入函数 x 之间的关系可以用基函数族的线性组合来表示。泛函分析奠定了这方面的坚实基础。这个问题数学上绝对站得住脚。理论和实践也证明了这样的观点。
- ◆但是输出函数 y 与输入函数 x 之间到底是否有关系，还是由人选择的合适的输出函数 y 与输入函数 x 决定的，即由标签数据决定的。风马牛不相及的输出函数与输入函数不可能找出什么有用的关系。
- ◆因此，标签数据+DNN方法是深度学习人工智能算法能否成果的关键。



◆三、 AI/ML的本质问题

- ◆做出正确/合理决策的根本基础：数据样本 X （或其特征）与决策目标 Y 之间存在较为线性的关系（或二者之间存在连续的关系）！
- ◆因此，不能对（深度）ANN算法（即DL）进行神化！我认为：它仅仅是Bayes统计决策的智能化实现而已。



◆三、 AI/ML的本质问题

◆在采样数据 X 的统计信息不足（原因很复杂，譬如采样不充分、噪声太大等），且决策目标与采样数据 X 的关系过于非线性时，**类比于密度 ρ 与到达时 t 的关系在FWI中估计密度 ρ** ，无论构造什么样的网络构型和算法，也不可能训练它并做出正确的决策。

◆样本数据 X 与决策目标之间的强非线性性关系依然是做出正确/合理决策的最大障碍。

◆数据与决策目标之间的映射关系往往是一个类似于非线性的“广义逆”。数学上，对非线性的“广义逆”研究很少。线性广义逆的存在也不能保证解的稳定性和收敛性。

◆这应该是我们关注的真正的焦点问题!!!



◆三、 AI/ML的本质问题

◆ (深度) ANN算法并没有回答如何能在数据样本 X (或其特征) 与决策目标之间存在 (强) 非线性关系 (或不很连续的关系) 时能给出最佳的判决。

所有AI算法都没有回答这个问题!

◆ 这是一个深层次的理论问题。

◆ 目前的 (深度) ANN技术基本上是基于30年前的思想积累。未来, 对人类大脑功能的理解、对数学的理解是深化DL, 甚至提出全新计算模式的根本途径。任重而道远!

◆ 我们应该如何办?

◆三、 AI/ML的本质问题

◆总结:

◆结构数据:

- ◆模型驱动的Learning From Data, 包括两项主要工作:
 - ◆参数估计;
 - ◆潜变量提取。
- ◆这是 (广义) 线性反问题。
- ◆数据驱动的Learning From Data, 核心算法是ANN (DL) , 目标是建立数据与决策目标之间的非线性映射关系, 即用标签数据训练网络。
- ◆这两种方法都是基于网络结构算法实现的。
 - ◆网络结构算法并没有特殊性。

◆三、AI/ML的本质问题

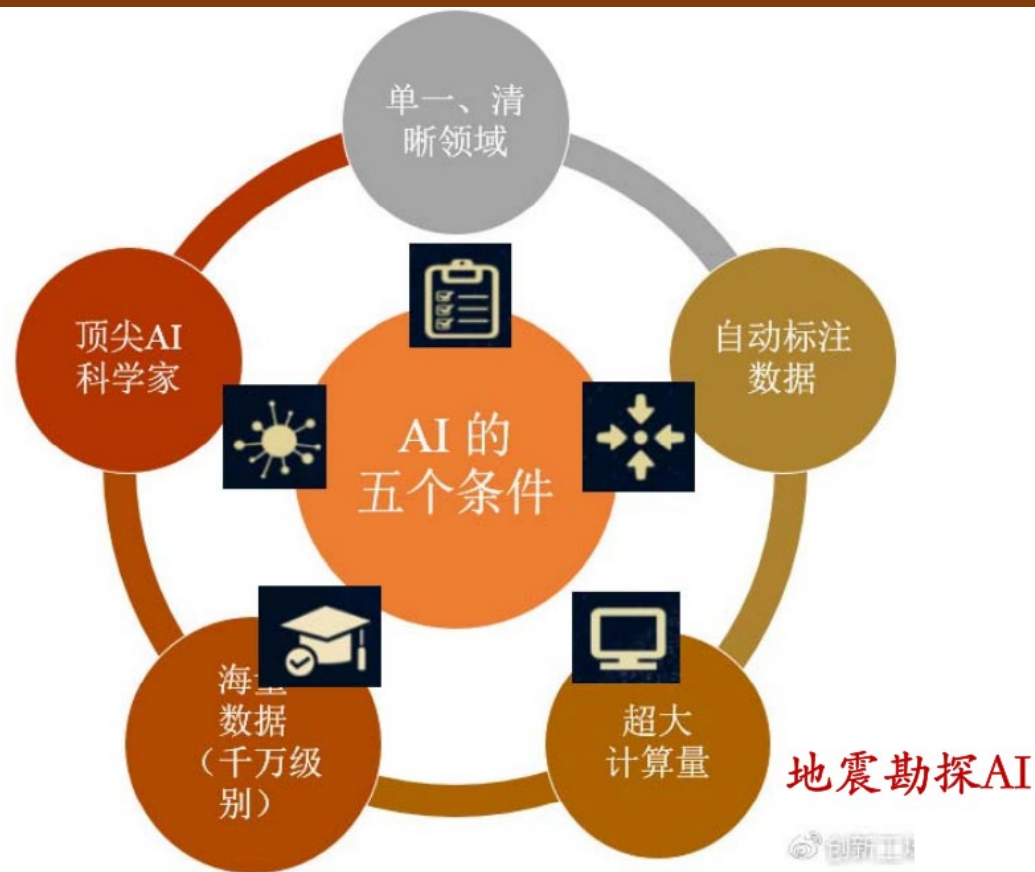
◆总结：

◆无结构数据：

◆概率图模型算法

◆知识图谱算法。

◆这也是网络结构算法。



◆拓展各种网络结构算法是AI/ML理论发展方向吗？

目录

- ◆ 一、概述
- ◆ 二、AI/ML的发展概况
- ◆ 三、AI/ML的本质问题
- ◆ 四、勘探地震数据分析的本质问题
- ◆ 五、总结与讨论



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆油气地震勘探的核心问题之一是勘探地震数据分析。

◆勘探地震数据分析的核心是：

◆由采集到的叠前地震数据以及其它关于要反演参数的先验信息，进行地震波反演成像，得到地下介质的定位、几何特征的估计和岩石物性参数（速度、波阻抗等）的估计。

◆关键步骤包括：正问题（描述波的传播过程）+反问题（进行介质参数的估计）



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆勘探地震数据分析的本质是：

◆存在一个勘探地震系统：

- ◆三维探区介质系统；震源激发；检波器接收；
- ◆系统输出：**叠前地震数据体**。

◆正问题或勘探地震系统的物理描述：

- ◆一般地，用高维褶积系统描述勘探地震系统。高维褶积系统建立起地下介质参数变化与波场变化之间的关系。

◆系统参数估计反问题：

- ◆系统介质参数估计（地震波成像）是核心问题。

◆Bayes参数估计理论是地震波反演成像的理论基础。

- ◆WPI对反问题的定位：**所有的反问题本质上都是在信息不充分情况下的统计决策问题！**

◆四、勘探地震数据分析的本质问题

- ◆地震波在实际介质中的**激发、传播和接收过程**是地震波偏移成像和反演成像的基础。
- ◆勘探地震数据分析本质上是**模型（高维褶积系统）驱动的参数估计问题**。
- ◆很显然，这与Learning From Data的机器学习是有本质差异的。
- ◆一般性的数据分析，正因为缺乏类似高维褶积系统这样的因果关系式的存在，不得已从数据中寻找数据与其中的潜变量之间的关系式，然后基于这样的关系，进行后续的分类等决策判断。
- ◆但是，机器学习算法挖掘出的**数据与其中的潜变量之间的关系式**，反映二者的**相关关系**，不一定是**因果关系**。因此，基于此关系做出的决策或判断更不可靠。
- ◆因此，机器学习算法特别需要**大数据**，期望用**统计特征完整的大数据**，使得找到的数据与其中的潜变量之间的关系式更可靠。基于这样的关系能做出可靠的决策或判断。



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆勘探地震数据分析本质上是**模型（高维褶积系统）驱动的参数估计问题**。

因此，它只要小样本数据就可以得到可靠的参数估计结果。

◆当然，“复杂地表、复杂介质和复杂储层” ---所谓三复杂情形下，参数估计问题（层析成像+LS_PSDM/RTM）也是非线性很强的问题，并不容易解决。

◆基于**数据驱动的机器学习算法**能在三复杂情形下能更好地解决地震波成像问题吗？

◆我对此很不乐观！

◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震波在实际介质中的传播过程及描述是地震波成像的理论基础

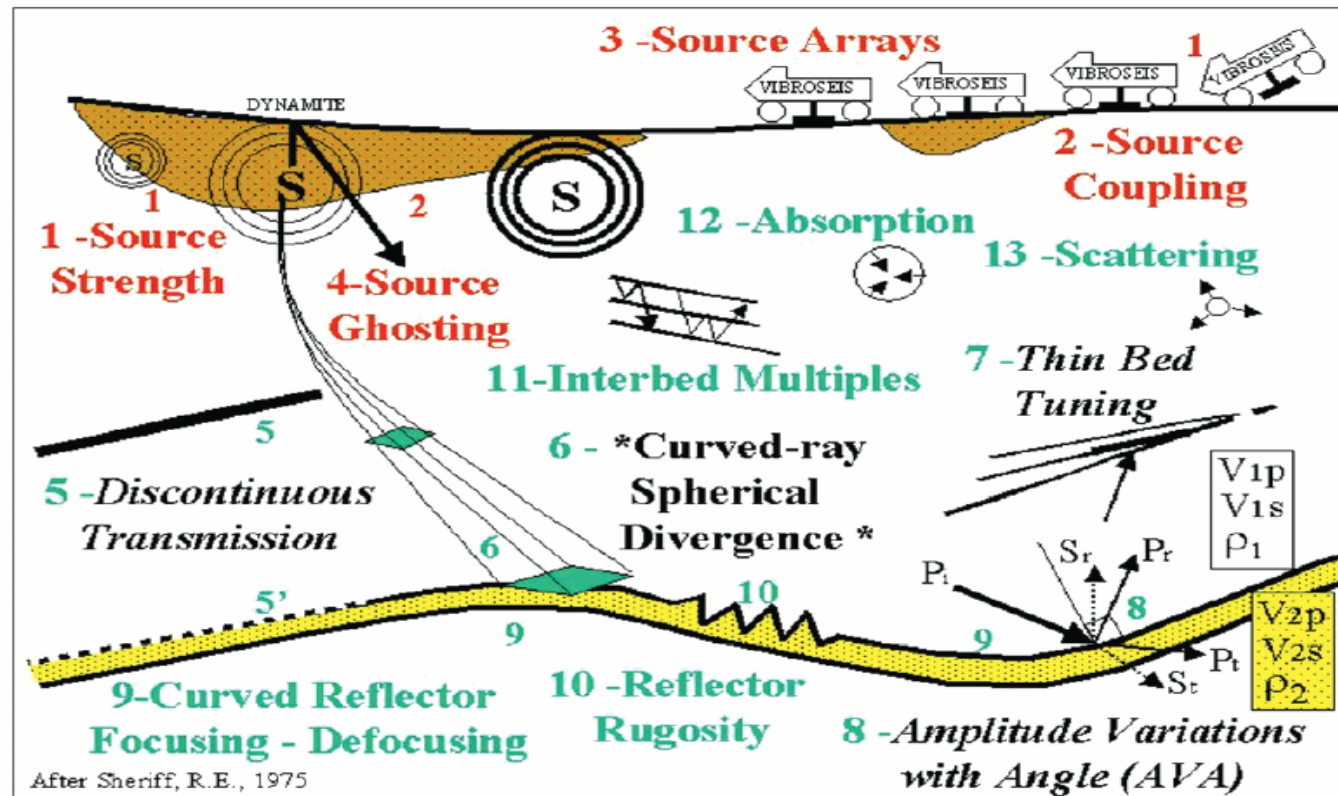


Figure 1. Factors affecting amplitudes are shown in red for the sources, and cyan for those in the earth. Numbers refer to Table 1, where bold lettering (F5-F8) indicates increased importance.

地震波在实际介质中的传播过程和激发与接收影响因素分析

◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震波在实际介质中的传播过程及描述是地震波成像的理论基础

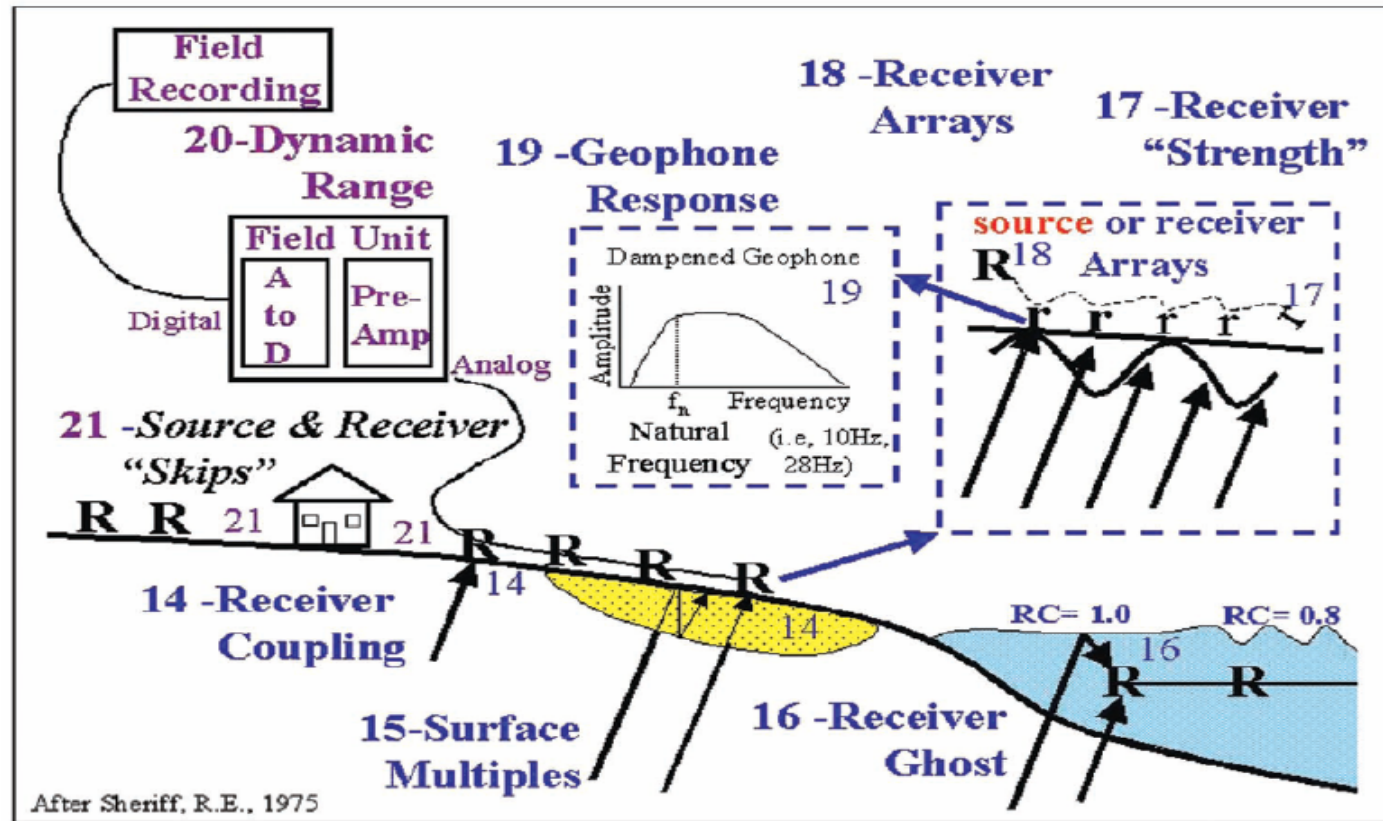


Figure 2. Factors affecting amplitudes are shown in blue for the receivers and violet for the recording systems. Numbers refer to Table 1, where bold lettering (F21) indicates increased importance.

地震波在实际介质中的传播过程和激发与接收影响因素分析



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震波在实际介质中的传播过程和激发与接收影响因素分析

◆影响地震波振幅（包括整个波形）的因素可以归为如下四个方面：

◆与地表有关的因素；

- ◆地表介质与震源和检波器的相互作用及波在表层（风化层）的传播引起的道与道之间的振幅与相位的差异。

◆与反射界面有关的因素；

- ◆薄层调谐作用；
- ◆反射界面的曲率。

◆与传播有关的因素；

- ◆球面扩散、透射损失、介质的非弹性吸收衰减、散射吸收衰减等。

◆与采集系统有关的因素。

- ◆观测系统非规则；
- ◆检波器组合的响应特征；
- ◆震源的响应特征。



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震波在实际介质中的传播过程及描述是地震波成像的理论基础

◆油气地震勘探中地震波传播正问题的描述：

◆在牛顿力学体系下，建立弹性波方程

◆应力应变分析

◆广义Hook' s Law

◆连续介质力学，岩石物理学

◆牛顿第二定律



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震波在实际介质中的传播过程及描述是地震波成像的理论基础

◆油气地震勘探中地震波传播正问题的描述：

- ◆21个参数的各向异性（粘）弹性波方程
- ◆9个参数的正交各向异性（粘）弹性波方程
 - ◆退化为标量的拟声波方程
 - ◆ORT_RTM, 积分法ORT_PSDM
- ◆5个参数的TI介质各向异性（粘）弹性波方程
 - ◆退化为标量的拟声波方程（各项异性介质成像的主要形式）
 - ◆TI_RTM, 积分法TI_PSDM
- ◆2个参数的各向同性（粘）弹性波方程
 - ◆弹性波RTM
 - ◆退化为标量声波方程
 - ◆ISO_RTM, ISO_PSDM



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震波在实际介质中的传播过程及描述是地震波成像的理论基础

◆油气地震勘探中地震波传播正问题的描述：

◆标量声波方程（最重要的波传播模型！）

◆标量声波方程的射线理论解

◆Gauss Beam

◆傍轴近似

◆Maslov 近似

◆标量声波方程的Kirchhoff积分解

◆标量声波方程的Born近似解

◆标量声波方程的Rytov近似解

◆标量声波方程FD解/FE解.....



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震波在实际介质中的传播过程及描述是地震波成像的理论基础

◆油气地震勘探中地震波传播正问题的描述：

◆各种波的时距关系

- ◆各向同性、各向异性介质
- ◆直达波、反射波、折射波
- ◆NMO、DMO、PSTM

◆Zeoppritz方程

- ◆各种线性近似的AVA关系
- ◆振幅随入射角的变化

◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震波在实际介质中的传播过程及描述是地震波成像的理论基础

◆油气地震勘探中地震波传播正问题的描述:

◆地震波传播的两种描述方式及对应的成像方法:

◆基于几何光学（射线理论）的几何地震学;

- ◆NMO/DMO/CRS

- ◆Kirchhoff积分PSTM/PSDM

◆基于波动理论的现代地震学

- ◆WE_PSTM/PSDM

- ◆RTM

- ◆FWI

◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震波在实际介质中的传播过程及描述是地震波成像的理论基础

◆关于地震数据预处理，WPI把地震数据抽象为：**线性（非线性）同相轴飘在不同统计特征的随机噪声中。**数学模型为：

$$d^{obs}(\mathbf{x}, t) = S(\mathbf{x}, t) + \eta(\mathbf{x}, t)$$

$$S(\mathbf{x}, t) = \Psi\boldsymbol{\beta}$$

$$J(\boldsymbol{\beta}) = \frac{1}{2} \left(S - d^{obs} \right)^2 + \alpha |\boldsymbol{\beta}|_1 = \frac{1}{2} \left(\Psi\boldsymbol{\beta} - d^{obs} \right)^2 + \alpha |\boldsymbol{\beta}|_1$$



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震波成像、地震数据去噪、规则化、插值、去混叠等预处理都可以视为Bayes理论下的参数估计问题。



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆地震数据成像处理流程：

- ◆静校正+初至波和/或折射波层析估计近地表速度模型
- ◆动校正+速度分析（反射波背景中深层速度估计）+叠后成像
- ◆叠前时间偏移+（反NMO+NMO速度分析）
- ◆叠前深度偏移
- ◆角度成像道集速度分析和/或层析速度反演
 - ◆成像域反射波速度层析反演
- ◆波动方程叠前深度偏移（K_PSDM/Beam PSDM/One-way WE_PSDM/RTM）

◆三个关键点：消除地表有关的影响因素、背景各向异性速度+Q值估计（建模）、LS_PSDM/RTM



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆认识地震波在勘探地震系统中传播产生的重要波现象是做好勘探地震数据分析的基础：

- ◆1-地震波衰减---Attenuation;
- ◆2- 地震波折射--Refraction;
- ◆3- 潜水波-----Diving Waves;
- ◆4- 地震波反射--Reflection;
- ◆5- 地震波绕射--Diffraction;
- ◆6- 与海水面和/或自由地表有关的多次波和面波;
- ◆7- 反射界面处波的分解---AVA/AVAz/AVF。

◆这些波现象与地震波反演成像息息相关。



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆认识与待反演参数相关的信息对于提高地震波成像的精度至关重要：
要：

- ◆探区地表情况；
- ◆探区地质（构造、沉积、岩性等）情况；
- ◆探区钻井信息；
- ◆探区岩石物理知识。



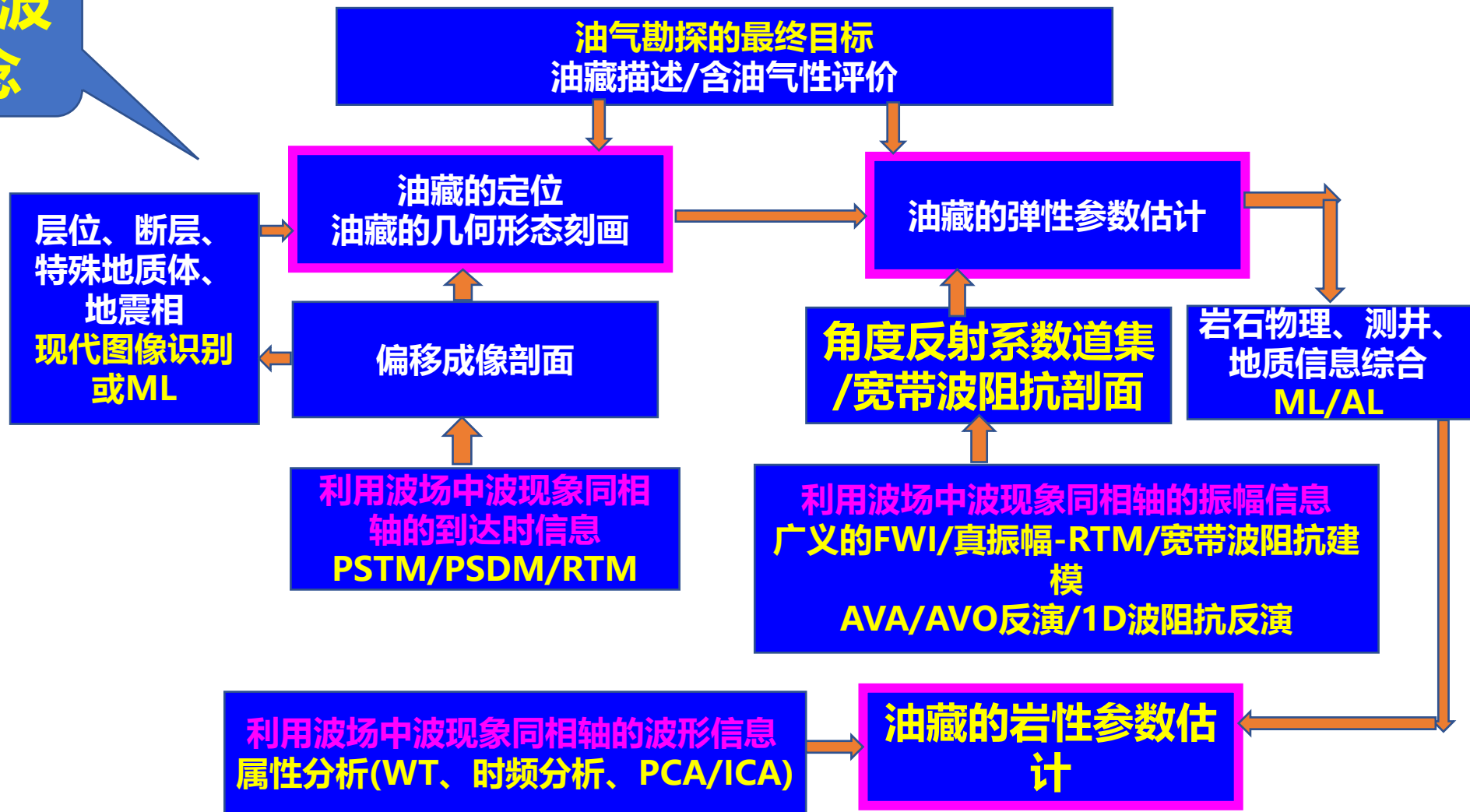
◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆总而言之，地震波反演成像的传播模型（1D褶积模型、Zoeppritz方程、各种时距关系、程函方程、波动方程）和地震波在实际介质中的波场之间的关系是我们理解地震数据采集、地震波反演成像的根本。

- ◆1D褶积模型---1D反褶积、波阻抗反演
- ◆Zoeppritz方程---AVA弹性参数反演
- ◆各种时距关系---动校正、静校正、噪音压制、DMO, PSTM
- ◆程函方程---旅行时计算、Kirchhoff PSDM、Beam PSDM
- ◆波动方程---One-Way WE PSDM, RTM

◆四、勘探地震数据分析的本质问题

WPI地震波成像理念



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

WPI地震波
成像理念

非线性的FWI

系统参数估计的Bayes理论框架

求取后验概率
密度分布

$$\rho_M(\mathbf{m} | \mathbf{d}) = \frac{\rho(\mathbf{d}, \mathbf{m})}{\rho(\mathbf{d})} = \frac{\rho(\mathbf{d} | \mathbf{m})\rho(\mathbf{m})}{\rho(\mathbf{d})}$$

求取估计结果的
均值和方差

$$\hat{\mathbf{m}} = \int \mathbf{m} \rho_M(\mathbf{m} | \mathbf{d}) d\mathbf{m} \quad C_M = \int (\mathbf{m} - \hat{\mathbf{m}})(\mathbf{m} - \hat{\mathbf{m}})^T \rho_M(\mathbf{m} | \mathbf{d}) d\mathbf{m}$$

后验概率密度
最大化

$$\hat{\mathbf{m}}_{\text{MAP}} = \arg \max_{\mathbf{m}} \rho_M(\mathbf{m} | \mathbf{d})$$

引入高斯分布假设,
转化为代价函数最小

$$\hat{\mathbf{m}} = \arg \min_{\mathbf{m}} \{S(\mathbf{m})\} = \arg \min_{\mathbf{m}} \left\{ (\mathbf{m} - \mathbf{m}_{\text{prior}})^T \mathbf{C}_M^{-1} (\mathbf{m} - \mathbf{m}_{\text{prior}}) + (\mathbf{g}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}_{\text{obs}})^T \mathbf{C}_D^{-1} (\mathbf{g}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}_{\text{obs}}) \right\}$$

正问题的线性化

$$\begin{aligned} \mathbf{d}_{\text{obs}} &= \mathbf{g}(\mathbf{m}_B + \Delta\mathbf{m}) = \mathbf{g}(\mathbf{m}_B) + \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{m}} \Delta\mathbf{m} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{g}}{\partial \mathbf{m}^2} \Delta\mathbf{m}^2 + \dots \\ \Delta \mathbf{d}_{\text{obs}} &\approx \mathbf{g}(\mathbf{m}_B + \Delta\mathbf{m}) - \mathbf{g}(\mathbf{m}_B) = \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial \mathbf{m}} \Delta\mathbf{m} \\ \Delta \mathbf{d}_{\text{obs}} &= \mathbf{G} \Delta\mathbf{m} \end{aligned}$$

线性化的FWI:
层析成像;
LS_PSMO

$$\hat{\mathbf{m}} = \arg \min_{\mathbf{m}} \left\{ (\mathbf{m} - \mathbf{m}_{\text{prior}})^T \mathbf{C}_M^{-1} (\mathbf{m} - \mathbf{m}_{\text{prior}}) + (\mathbf{G} \Delta\mathbf{m} - \Delta \mathbf{d}_{\text{obs}})^T \mathbf{C}_D^{-1} (\mathbf{G} \Delta\mathbf{m} - \Delta \mathbf{d}_{\text{obs}}) \right\}$$



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆“两宽一高”的叠前地震数据+关于地下介质的先验信息是地震波成像需要的基础数据。

◆复杂介质情形下的勘探地震中的参数估计问题（地震波反演成像问题）是一个典型的强非线性反问题！

◆FWI（LS_RTM）是地震波反演成像的代表性方法技术。它们是Bayes估计理论在勘探地震中的应用实例。

◆复杂介质情形下，它们都是强非线性反问题。

◆这是FWI（LS_RTM）难以实用化的根本原因。How?



WPI地震波 成像理念

◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆非线性反问题的WPI解决方案：

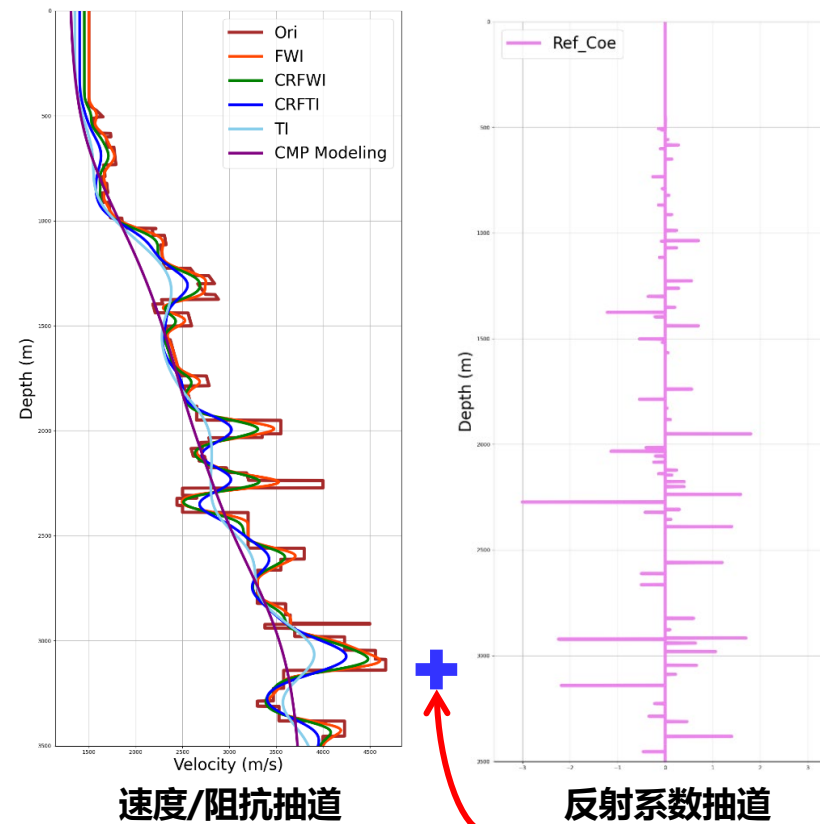
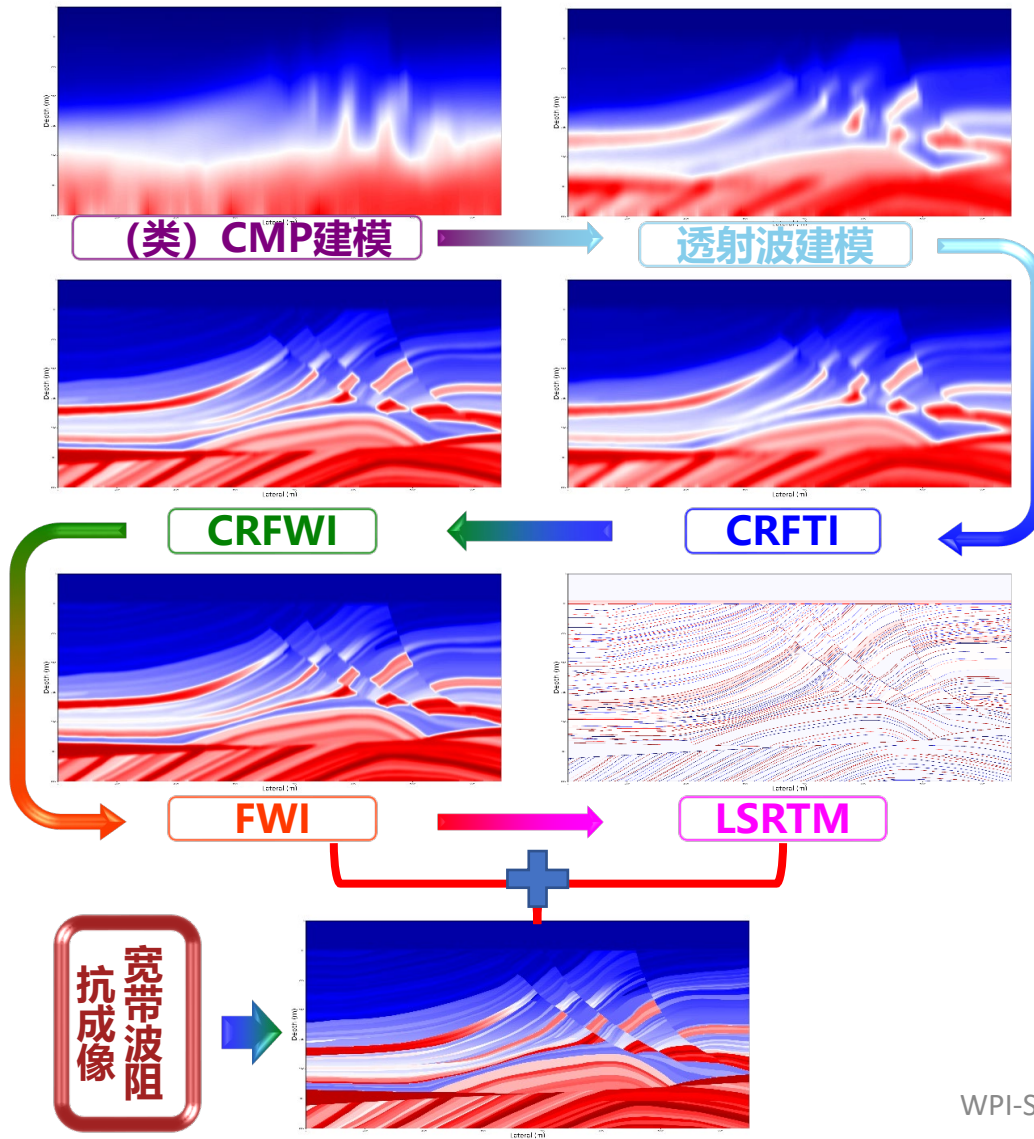
- ◆为了构建凸的反问题，重点是提出更合适的介质参数与波场（波现象）之间的关系式（算子）。所谓更合适的介质参数与波场（波现象）之间的关系最好是一对一的因果关系。
- ◆据此，WPI提出特征波反演（CWI）成像理念和技术路线。并把CWI推进到宽带波阻抗成像。
 - ◆**宽带波阻抗成像**被表达为一个信息融合问题，而不是表达为一个强非线性的参数估计（或参数反演）问题。因此，在“两宽一高”数据支持下，具备了切实的可行性。



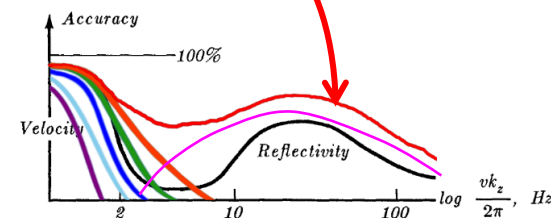
WPI地震波 成像理念

◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆凸的地震波成像技术组合---CWI+宽带波阻抗成像



CWI: 特征波反演;
CRTI: 特征反射波到达时层析;
CRWI: 特征反射波波形层析。



(Jon F. Claerbout, 1984)



◆四、勘探地震数据分析的本质问题

◆归纳性观点：

- ◆油气地震勘探的目标是精确刻画与评价油气藏，做出是否钻井的决策。
 - ◆是适合AI解决的问题。
- ◆勘探地震数据分析的目标：为精确刻画与评价油气藏提供关于油气藏的空间位置信息、几何形态信息、弹性参数信息。
 - ◆是基于模型驱动的参数反演（参数估计）问题，是适于非学习类算法解决的问题。
 - ◆基于数据驱动的机器学习算法能提升勘探地震数据分析的自动和智能化程度，是否真的能提高数据分析精度目前不好评估！
 - ◆但是，从提供先验信息的角度，ML可以提高目前地震波成像的精度。
 - ◆发展出自动与智能的地震波成像处理系统应该是可以期待的。

目录

- ◆ 一、概述
- ◆ 二、AI/ML的发展概况
- ◆ 三、AI/ML的本质问题
- ◆ 四、勘探地震数据分析的本质问题
- ◆ 五、总结与讨论

五、总结与讨论

- ◆ 勘探地震中，“两宽一高”数据采集技术+模型驱动的广义地震波反演成像技术（推进到宽带波阻抗成像）+多种信息融合的油藏描述与评价技术，始终是三个核心问题。
- ◆ 大数据和人工智能时代，数据驱动的学习类算法能否在勘探地震数据分析中起到颠覆性作用？目前看来数据驱动的学习类算法（或机器学习）只是在去噪、初至拾取、速度谱自动解释、层位追踪等等凡是适合学习类算法应用的场景中逐步得到了应用。
- ◆ 发展出自动与智能的地震波成像处理系统应该是可以期待的。
- ◆ 是否有必要和可能开发出能取代人进行含油气判决和钻井决策的机器人是需要慎重抉择的。尽管这是AI的真正目的，我对此很不乐观！



谢谢
欢迎批评指正