

Principles of Intelligence

智能原理

○ 杨学山 / 著



中国工信出版集团



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

智能原理

Principles of Intelligence

杨学山 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书全面梳理了各个学科与智能研究相关的成果,在此基础上归纳了一般智能的构成要素,形成了生物智能和非生物智能统一的智能理论体系。同时,本书系统分析了智能的进化、发展、使用和评价,提出了语义逻辑的主要准则和不同于冯·诺伊曼体系的智能计算架构,并且为构建本书所述非生物智能体或人工智能学界讨论的通用人工智能提出了一条可实现的路径。

本书适合对智能和人工智能感兴趣的学者、实践工作者和学生阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

智能原理 / 杨学山著. —北京: 电子工业出版社, 2018.3

ISBN 978-7-121-33678-2

I. ①智… II. ①杨… III. ①人工智能—理论 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 028208 号

责任编辑: 董亚峰 特约编辑: 曲 岩

印 刷: 北京画中画印刷有限公司

装 订: 北京画中画印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 720×1 000 1/16 印张: 28.5 字数: 424 千字

版 次: 2018 年 3 月第 1 版

印 次: 2018 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 88.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254694。

前 言

“智能”是当前最热的词，然而没有相关领域专家学者共同认可的定义。人类社会正在走向智能时代，已经成为多数人的共识。但是，什么可以称为智能，它的起点在哪里，发生和发展遵循什么规律，却似乎成为研究的禁区。没有智能原理的告诫不止在一本关于智能或人工智能的著作中出现，当我告诉这个领域的一些朋友我准备写智能原理的著作，我从对方的眼神中看到了怀疑和担心。感谢他们，使我更小心地去求证。无论路途是平坦还是坎坷，似乎有一只无形的手在推着我，似乎有一个声音在督促我，要尽最大努力去研究、去探索，哪怕只是为这一领域的研究铺下一颗石子。

30 多年来，我对智能的研究虽时断时续，但从没有放弃。1984 年，我完成的硕士论文《基于规则的汉语科技文献自动标引》本质上就是一个专家系统，但当时我对专家系统几乎还是个文盲。以这篇论文为基础，我申请了教育部的博士研究课题。我作为项目实际执行人，带领 6 个师弟、师妹经过两年时间，于 1987 年初开发出了在微机上运行的科技文献自动标引系统，得到业界一致的充分肯定。正是这个经历，使我对人工智能、专家系统有了兴趣。毕业之后，我的工作性质决定了没有时间专门从事研究，但学习与思考没有停止，1990 年前后还抽空编著了《专家系统及其在管理中的应用》一书，1991 年由清华大学出版社出版。此后个人的兴趣依然未减，一有时间，便看文献、做笔记，对不同学科的研究成果和路径进行分析、比较，对智能发展

的态势进行研判。2009年5月,我在广州中山大学做了一次题为“18世纪中期到22世纪中期:人类文明演进的脚步”的报告,报告中预言,到2150年,“工资性劳动时间将不超过每周10小时。机器人为主体承担物质产品生产、生产性和生活性服务的产业和商业模式成形。所有国家基本完成这样的产业体系重构”。提出“随着智能技术、生物技术和信息基础设施的发展,人、非生物智能体将在各项经济、社会活动中并存,后者的作用随着信息文明的深入而不断增强,建立多种智能行为主体环境下的社会治理结构,是工业文明向信息文明跃迁的重要任务,也是考验人类的理性和智慧的试金石”。2011年5月,在百度做了题为“信息革命三部曲:解放人的脑力、延伸人的智力、独立于人的智能”的报告。2015年10月,在中国信息通信研究院的一次报告中,专题讲了“为什么人类社会下一个发展阶段是智能时代”。2009年以来,我在智慧城市、智能制造等领域组织、参与了一些项目的实施。30多年的学习、观察、思考与实践,是本书形成的基础。

我们看到人工智能系统与人对话、同台智力竞技、与人下棋、陪人走路,看到机器人承担着生产与服务环节的许多工作:机械加工、设计制图、端饭炒菜、理财炒股、疾病诊断、语言翻译、语音识别,等等。相同或相似的结果或行为,不同的主体,不同的实现模式,其背后存在什么关系,能否建立统一的智能理论,这是我多年来追寻的目标。离开工作岗位,终于有时间沉浸于研究之中,几年努力,答案是肯定的,本书也终于定稿。

全书共7章。第1章是对智能相关学科研究成果的综述,目的是从中归纳出关于智能定义和决定其发生发展的主要因素。第2章将第1章的成果落实,提出了智能的定义、组成要素并展开了框架性讨论,是智能理论的总纲。第3、4章是以第2章给出的定义和框架为基础,解释智能的进化、发展和使用,并力图梳理出具有规律性的结论。这两章的分析说明,第2章给出的智

能理论充分解释了迄今为止智能进化和发展的过程和各种类型智能的使用实践。第5、6章是在第3、4章归纳的主要结论基础上的进一步抽象和普遍化。第5章总结并分析了智能的10个逻辑特征,归纳为10项准则。第6章在第5章的基础上提出了基于语义处理的智能计算架构。第7章则在前述各章结论的基础上,对人类社会如何推动智能进化进入最后一个阶段的概要分析,介绍了特征、关键路径和应关注的发展理性。第5~7章均以第2章提出的智能理论为基础展开,说明了该理论框架的预见性。

第1章系统全面介绍了与智能研究相关领域的主要成果,是全书的基础。本章从四个角度梳理了这些领域的主要贡献。一是数千年人类文明的先驱者对精神、灵魂、智慧的理解带给我们的启迪。二是从生物智能进化和发展的角度,分别介绍了进化生物学、基础生命科学、分子生物学、生物化学、植物生理学、动物行为学、认知神经科学、神经心理学、认知心理学、发展心理学等学科对生物智能相关的研究成果。三是从非生物智能的角度,分别介绍了简单工具、非数字机械、计算工具、数字设备、自动化系统、人工智能、逻辑和计算等领域对智能研究的贡献。四是从生物智能与非生物智能交叉研究的角度,分析了以心智研究为代表的研究成果。通过多角度的系统梳理,发现了生物智能进化与发展的一些重要规律,以及生物智能与非生物智能的共性,第2章提出的智能定义和基本架构就建立在这些成果的基础上。

第2章是全书的核心。以所有相关领域研究成果的归纳为基础,提出了智能的定义、组成要素及相互关系,是本书的总纲。智能是如此真实的客观存在,与人类生存和发展关系如此密切,智能的研究跨越数千年,与智能相关的研究文献不计其数,但对智能是什么始终争论不休。坚持智能是心理或精神的,在研究中必然发现智能发展的物质特性,这些特性不能由心因解释;坚持智能是物质的,在研究中必然碰上今天的神经科学和脑科学尚不能解释

的心理或精神元素；心智研究力图穿透两者，但解释性和预见性均不足以为各方接受。本书关于智能的定义是在麻省理工学院《认知百科全书》中的定义基础上稍作修改而成的，“智能是主体适应、改变、选择环境的各种行为能力”，这里的主体包括生物体和非生物体，也与该书的定义一致。基于这一定义，进一步定义了智能的构成要素——主体性、功能、信息和环境，而环境是影响智能进化、发展和使用的重要的外部因素；定义了三个要素——主体性、功能、信息的构成。智能的定义、要素及其构成是智能理论的基本框架。

第3章确定了智能的起点，分析了智能进化的前五个阶段，对生物智能和非生物智能的发展过程和特点进行了剖析。根据定义，本书将地球上智能的起点定在地球上第一个原始生命体，不管这个智能体多么简单，它具备适应环境的能力，并且存在主体性。第3章通过对生物智能和非生物智能各种类型以主体性、功能和信息及主要环境影响为主线的进化发展过程的分析，提出了智能进化的六个阶段：单细胞生物、神经系统和脑、语言和文字、计算工具和数字设备、自动化和智能系统、非生物智能体。

智能进化与发展呈现两条主线，一条是生物智能的，另一条是非生物智能的。两者进化的轨迹有着反向前行的性质，生物智能以主体为基础从很低的功能和信息能力开始发展，非生物智能以实用的功能和信息处理能力为基础，经由人赋予的控制能力向自主的非生物智能体发展。两者在自动化系统和人工智能系统开始交叉，到进化的最后一个阶段——非生物智能体时重合。本章用第2章智能构成框架诸要素对智能进化的前五个阶段、两条主线进行了全方位分析，该理论确实具有良好的解释性。智能的进化和发展本质上都是朝着更高智能前行，区分是为了界定两类不同特征的前行模式，更好理解智能发展的规律。发展是讲一个智能体一个生命周期的智能提升，进化是跨越生命周期、跨越个体智能发展。在一个生命周期，生物智能体经历了学习

过程、使用过程和蜕变过程，非生物智能体经历了赋予过程、使用过程、淘汰过程，而主要的变化也是发生在主体性、功能和信息三个方面。

第4章从前两章讨论智能如何构成和形成转向如何使用。首先全景分析了智能使用的对象：智能事件和智能任务。智能事件和智能任务是同一事物在不同场景的不同名称，智能事件是指社会各个领域和智能主体内客观存在的各类事务，智能任务是指要由一个个智能主体执行的各类事务。智能任务的执行可以称之为问题求解。“不同特征的智能事件或智能任务就有大致相同的问题求解过程，但存在不同的问题求解策略和路径。对于任何智能主体，问题求解的结束不是得到了结果，更重要的是经过评价之后的学习，在消化过程和结果中发展，智能的使用过程也是智能发展的过程。

第4章还从三个方面提出了对智能评价的主要指标。一是智能事件或智能任务的复杂性；二是智能主体的就绪度、成熟度、完备度；三是智能使用宏观效果，有效性和增长性。通过系统地对智能任务的类型、问题求解策略和路径的分析，得到一个十分重要的结论：智能主体在求解相同或相似的问题时，使用的算法和计算越多，该主体的智能成熟度越低。

前面几章讨论的对象是所有的智能体，第5、6章的对象是非生物智能体。第5章讨论了智能的10个逻辑特征，十项准则。智能是语义的。智能主体拥有的信息、进行的信息处理是基于语义而不是承载语义的符号，这是导致所有智能逻辑和计算特征与/或规律的主要原因。智能主体拥有的智能是由一个个具体的智能构件组成的。构件和连接是语义性的直接体现、是所有基于语义的智能处理主要形式。叠加、递减、融通三项准则是智能构件进化和发展的基本运算方法。容错保留了多样性和可能性，规范引导整体趋于合理，为智能理性创造条件。

第6章提出了基于语义处理的智能计算架构。与基于符号处理的冯·诺

依曼计算架构不同，智能计算以语义逻辑为基础，以内外部智能任务的计算为过程，以主体智能持续增长为目标。它的运行以外部感知和内部计算需求触发，经过策略确定、资源调用、任务执行、过程评价、成果学习、智能拓展的循环，形成以智能行为过程为基础的智能计算循环，以这个过程为基础，主体的智能逐步提升。智能计算架构由三部分组成：一是智能行为流程的构建：触发与分配器、策略生成器、执行器、评价器。二是智能主体的资源：智能构件、微处理器、计算资源、行为资源。三是智能主体的环境：外部事件、外部资源。在提出智能计算架构后，又专门对主要构成部分（微功能单元、功能单元组和功能系统）和智能计算架构形成的起点及成长过程做了较为深入的分析。描述构件是非生物智能体所有功能和信息的承载体、复制的基因、智能行为可调用的记忆。连接与描述构件一起构成信息的语义性。外部感知、连接、描述构件、微处理、内计算构成智能计算架构持续走向完善的机制。智能计算架构与基于符号的冯·诺依曼架构不同，存在各具特征的计算架构，特别是微处理和内计算，这是智能计算模式中最具特点的部分。智能计算架构在该架构达到完善之前处于不停息的计算之中，通过计算走向成长。只有在所有内部路径遍历之后没有新的学习材料或没有来自外部的学习材料时，内计算才会停止。

第7章是对智能进化如何进入第六阶段的路径及进入第六阶段后图景进行分析。非生物智能体从当前的自动化系统或人工智能系统向非生物智能体进化，主要是三大变化，一是自主控制智能行为，二是自主学习成长，三是自主获取计算和物理资源。本章分析了实现的可能性和路径。描述了智能进入第六阶段之后的一般场景，并从主体、功能和信息三要素分别讨论了目标、路径和关键任务。特别强调了控制功能、学习模块的逻辑及非生物智能体的遗传基因——完备的功能及信息构件的生产工具或生产线等智能社会发展的

基础设施的建设。本章还专门讨论了由人和非生物智能体共同构成的社会如何治理，如何认识并实现非生物智能体的理性，形成人与非生物智能体共同遵循的社会理性准则。同时明确指出，人类无须为非生物智能体可能超越人类智力而过度担忧，智能增长与理性增长成正比是判断这个新社会的基点。

本书总结了智能进化、发展和使用遵循的主要规则，这些规则与得到充分发展、取得巨大成功的数学、物理学规则既有相符的一面又有相悖的一面。比如说，人或行走机器人在走路的时候，需要克服重力，需要注意坡度、风力，这些都遵循物理定律；但为什么要走、为什么选择这条路线、为什么快慢不同、走的过程怎么控制，则不属于物理规律的范畴，物理规律对这些行为没有可以解释的理论。也可以说，为什么选择这样的路线、为什么快慢不同、为什么要走、怎么走，可以用数学逻辑实现，但同样既有可说明的一面，也有不可说明的一面。以餐厅中的端盘子机器人和端盘子服务员为例，机器人为什么要走基于客户的需求，怎么走，基于复杂的感知、策略、算法，对力和物理部件的控制；为什么走这条线路，基于内置的路径优化算法；为什么快慢不同，基于内置的对路线条件和实际场景的控制模块；与服务员为什么要走、为什么走这条路线、为什么快慢不同的原因相同，但实现的逻辑过程完全不同，老服务员对这三个问题的决策几乎没有任何计算、推理的逻辑过程，更不用说每一步脚抬多高、手如何配合、如何实现平衡等这些机器人必须通过算法来实现的计算问题。如果剖析人这个若干秒钟的过程，内在的认知过程和行为过程极其繁复，如果完全用模仿的方式实现，比以算法和逻辑为基础的走路机器人使用的计算资源还要多。看一眼顾客位置决定如何走这个几乎是直觉的过程，涉及的神经突触可能若干亿个，每一个手脚的动作，运动神经元与肌肉之间的瞬间连接可能达到数万个，为什么如此复杂的过程，人执行起来十分容易、流畅，这是因为整个逻辑过程没有推理，没有计算，

只通过一条直接的连接串实现。智能成熟度不是以使用什么算法和逻辑决定的。更进一步，人在进化和发展中形成这样的本能或直觉，也没有经过逻辑或算法的过程。需要重新回到基本点，那就是智能、信息与物理规律、算法逻辑之间的适用又不适用的特殊关系。体现信息、智能本质的发展不遵循物理规律，信息、智能中物理性的构成遵循物理规律；对于符号的处理或智能中的形式性行为 and 过程，算法和逻辑很有解释力，但与语义、主体性连接的问题求解，则已有的逻辑和算法又经常不适用。数学、哲学、逻辑学都告诉我们，任何科学结论都适用特定的问题域，不同性质的问题不能通解。也许，物质可以通过时空隧道回到过去，但生命体、信息（这里的信息不是物理学定义的信息，是基于场景和连接的含义）、智能（这里的智能不是智能的载体，是借载体存在的功能）不可能回去。不能用数学公式来表示一个学科大类的发生发展规律，不是这门学科不成熟，而是数学的不成熟，因为数学没有找到适应这门学科的数学表述。

研究信息、智能的发生发展规律，既需要充分理解数学、物理学、生命科学在信息运动和智能行为中发挥作用的规律，还需要理解这些学科在哪些环节不适用和为什么不适用，这样才能把握本质，推动对信息、智能的认识和实践走在科学的轨道上。

我对信息研究的本意是研究智能，信息和智能是不可分割的。《论信息》的第3~5章实际上是为解释智能准备的。信息结构的生成和完善是智能过程，没有智能，信息不能走向独立的自我存在的空间，不能逐步完成对客观对象的完备描述。没有信息对各类事物的完备描述，基于语义逻辑的智能行为就失去基础。几年前打算写《信息与智能原理》，2015年动手写《论信息》的时候决定分为两本书，原因主要是信息是一类独特的、客观存在的物，智能则是一类独特的、客观存在的事，逻辑架构和描述方式均有很大不同。

当本书即将付梓的时候，心中不免忐忑，书中论述是否触摸到了智能原理，讲述的智能发生发展规律是否符合客观实际等在心中反复思考无数次的问题再次浮起。作为基本理论探索，确实还存在许多需要进一步分析、求证、细化的地方。但看着智能化的时代大潮风起云涌，缺乏基础理论的风险已经显现，尽管不够成熟，但依然以《智能原理》作为书名出版。

《智能原理》一书是关于智能理论全新的逻辑体系、概念体系和描述体系。翻译难度之大可想而知，感谢美国长岛大学储荷婷教授对本书前言和目录精致的翻译。

感谢电子工业出版社刘九如、秦绪军、董亚峰在本书出版过程中付出的心血和劳动，没有他们的努力，本书不可能这么快和以这么精美的形式呈现在各位读者面前。

杨学山
2008
2018.1

Preface

Intelligence is currently the hottest word in our society. However, experts and scholars in related fields have no agreed-upon definition for it. Although most of us believe that our society is moving toward the era of intelligence, we are not sure what can be called intelligence, where its starting point is, and what patterns its occurrence and development follow. These questions appear to become a prohibited area for research. More than one book on intelligence or artificial intelligence (AI) warn us that no principles exist for intelligence. When I tell my friends in this field that I am going to write a book on principles of intelligence, I can see doubts and concerns in their eyes. This makes me to be more cautious in doing research on principles of intelligence and for which I should thank those friends of mine. No matter how bumpy the road to exploring principles of intelligence might be, I shall try my best to tackle this problem as if there were an invisible hand pushing me and a voice urging me. Even if my research only lays one pebble for this field of study, my efforts to it would not abate.

In over past 30 years, my pursuance of research in intelligence has been intermittent but has never been abandoned. In 1984, I completed my master's thesis titled "Rule-based automatic indexing of Chinese documents in science and technology", which was essentially an expert system. At that time, however, I knew very little about expert systems. Based on this essay, Applied for funding for a doctoral research project from the Ministry of Education. As the principal investigator, I worked with six lower class graduate students. This system received

unanimously positive feedback. It is this experience that cultivates my interest in artificial intelligence and expert systems.

After graduation, the nature of my work did not allow me to focus on research. But I did not stop learning and thinking about the problem of intelligence. In 1990, I had time to edit a book titled "Expert systems and their applications in management" which was published by Tsinghua University Press in 1991. Since then, my personal interest in intelligence has not diminished. Instead I would read related documents, take notes, and analyze research results and approaches of different disciplines in order to determine the direction of intelligence research. In May 2009, I gave a talk entitled "From mid-18th century to mid-22nd century: Evolution of human civilization" at Sun Yat-sen University in Guangzhou. I predict in the talk that the time in which people work for wages will not exceed 10 hours per week. Robots will be the main workforce for material goods production, shaping the modes of industrial and commercial production and daily life services. All countries will have basically completed the reconstruction of such an industrial system. "I also predicted that" with the development of intelligent technology, biotechnology and information infrastructure, humans and non-biological autonomy will coexist in various economic and social activities. The role of the latter will continue to grow with the deepening of information civilization and establish a structure of societal governance in the environment of multiple intelligent autonomy. This constitutes an important task for the transition from industrial civilization to information civilization as well as the touchstone for testing the rationality and wisdom of mankind." In 2011, I delivered a speech titled "Trilogy of information revolution: Emancipating human mind, extending human intelligence, and intelligence independent of humans" at Baidu. In October 2015, I specifically talked about at the China Institute of Information Communications why the next stage of societal development was the era of intelligence. I have also been involving in the planning and implementation of some smart cities and intelligent manufacturing projects since 2009. It is my research, observation,

thinking and practice in over 30 years that forms the foundation of this book.

We now can see AI systems carrying out conversations, competing on the same stage, playing chess, and accompanying humans to walk. Robots are in charge of many jobs in production and service areas such as machinery processing, graphic design, food making and serving, stock investment, patient diagnosis, language translation, and speech recognition. The same or similar results or behaviors are from different subjects (i.e., humans or non-biological autonomy) using different modes of implementation. What relationships lie behind such phenomena? Whether a unified theory of intelligence can be established? These are the goals I have been pursuing for many years. Now that I am retired, I finally have the time to immerse myself in this research in the past several years and consequently have completed my book on the topic.

The book consists of seven chapters. Chapter 1 is a review of research in fields related to intelligence, aiming to derive a definition of intelligence and identify major factors that determine its occurrence and development. Chapter 2, built on the basis of Chapter 1, defines intelligence, describes its major components before setting a framework for further discussions. The framework serves as a general outline for the theory of intelligence. Chapter 3 and Chapter 4 explain the evolution, development and use of intelligence based on the definition and framework provided in Chapter 2. It also attempts to draw conclusions that are of regularity. The analyses performed in these two chapters show that the theory of intelligence I presented in Chapter 2 can fully explain the process of intelligence evolution and development as well as the application and practice of various types of intelligence up to present. Chapter 5 and Chapter 6 are further abstraction and generalization of the main conclusions drawn in Chapter 3 and Chapter 4. Specifically, Chapter 5 summarizes and analyzes the 10 logical features of intelligence, from which 10 norms of intelligence are induced. Chapter 6 proposes a semantics-processing-based computation framework for intelligence on the basis of Chapter 5. According to the conclusions of the previous six chapters, Chapter 7

conducts schematic analyses of how human society pushes forward the evolution of intelligence into its final stage. This chapter also depicts characteristics and key paths of intelligence and its developmental rationality that concerns us. Chapters 5-7 are written on the basis of the theory of intelligence proffered in Chapter 2, which illustrates the theoretical framework's predictability.

Chapter 1 of this book provides a comprehensive and systematic description of the major achievements of research on intelligence in related fields, which serves as the foundation for the entire book. This chapter reviews the major contributions of these fields from four different perspectives. First, it is about the enlightenment brought to us by the pioneers of human civilization in their understanding of spirit, soul and wisdom in the past thousands of years. Second, from the perspective of evolution and development of biological intelligence, this chapter presents research findings on biological intelligence from the fields of evolutionary biology, basic life science, molecular biology, biochemistry, plant physiology, animal behavior science, cognitive neuroscience, neuropsychology, cognitive psychology, developmental psychology and more. Third, from the angle of non-biological intelligence, I discuss the contributions made to intelligence research from simple tools, non-digital machinery, computation tools, digital devices, automation systems, artificial intelligence, logic, computation and other domains respectively. Fourth, from the perspective of cross-disciplinary study of biological and non-biological intelligence, I analyze the research results represented by mind research. Through the analyses and discussion from the above four perspectives, some important patterns of the evolution and development of biological intelligence are observed. The commonality shared between biological and non-biological intelligence is also discerned. The findings from all those disciplines and domains together provide a foundation for the definition and basic framework of intelligence posed in Chapter 2.

Chapter 2 is the core of the present book. It is based on summarizing all the research results of related fields that this chapter puts forward the definition,

components and interrelations of intelligence. Chapter 2 functions as a general outline for this book. Intelligence is such a real, objective existence. It has such a close relationship with human survival and development. In addition, research on intelligence spans thousands of years and there are countless research documents about intelligence. Yet the debate on what intelligence is never ends. One school insists that the intelligence is psychological or spiritual. However further research inevitably finds material characteristics in the development of intelligence, and such characteristics cannot be explained by spiritual mind. Another group insists that intelligence is material. Nevertheless research on the topic would eventually run into psychological or spiritual features of intelligence that cannot be explained by today's neuroscience and brain science. The study of mind attempts to go beyond both the psychological/spiritual view and material view. But the explicability and predictability of the third view is not good enough for all to accept.

The definition for intelligence in this book is based on the one in The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences (MITECS) with slight adaptation: "Intelligence is the subject's abilities to adapt to, change and select the environment." The subject here includes both organisms and non-organisms, which is consistent with the MITECS' definition. From this definition, I further define the major components of intelligence: autonomy, function, information and environment. The environment is an important external factor that affects the evolution, development and use of intelligence. I also define what constitutes entity, function and information. The definition, major components and composition of intelligence together form the basic framework of intelligence theory.

Chapter 3 determines the starting point of intelligence, analyzes the first five stages of intelligence evolution, and examines the development process and characteristics of biological and non-biological intelligence. According to the definition provided early, this book sets the starting point for intelligence to be the first primitive life entity on earth. No matter how simple the intelligent entity is, it