

哈爾濱工業大學

认知神经科学原理

题 目 意 识 综 述

专 业 软 件 工 程

学 号 1190200803

学 生 杨 如 帅

指 导 教 师 马 琳

摘要

什么是意识？维基百科对意识的定义为：意识是人对环境及自我的认知能力以及认知的清晰程度^[1]。著名哲学教授 John Rogers Searle^[2]把意识比喻为“从无梦的睡眠醒来之后，除非再次入睡或进入无意识状态，否则在白天持续进行的，知觉、感觉或觉察的状态”。然而遗憾的是，现有的科学理论难以对意识给出一个被广泛接受的准确的定义，诸多假说如今却无法得到实验的验证。人们普遍认为人脑是意识产生的物质基础，人们渴望通过找到能够产生某种特定意识感的最小集合的大脑区域来了解意识的构成，然而由于人脑结构十分复杂，使得人脑意识的研究并不顺利。面对着意识是否为人脑所特有的问题，2012 年诸多科学家共同签署了剑桥意识宣言，宣称人脑结构并不是意识产生的必要条件，非人类生物似乎表现出类似意识的行为。既然意识并非人类所特有，是否意味着将来可以制造出特定的算法和芯片来实现强人工智能，未来具有意识人工智能的出现将带领人类走向何方。

关键词：意识；整合信息理论；全局工作空间理论；意识相关神经区；剑桥意识宣言；人工智能

目 录

摘要	- 2 -
目 录	- 3 -
一、引言	- 4 -
1.1 解释鸿沟与意识的难问题	- 4 -
1.2 意识假说	- 4 -
1.3 整合信息理论	- 4 -
1.4 全局工作空间理论	- 5 -
1.5 总结	- 6 -
二、意识的物质基础与功能	- 7 -
2.1 意识相关神经区	- 7 -
2.2 NCC 相关实验	- 7 -
三、意识功能	- 8 -
3.1 意识存在的必要性	- 8 -
3.2 意识与进化	- 9 -
四.意识非人类独有	- 10 -
4.1 剑桥意识宣言	- 10 -
4.2 低等动物是否具有意识	- 10 -
五.人工智能与意识	- 11 -
5.1 功能主义与连接主义的争论	- 11 -
参考文献	- 11 -

一、引言

JE PENSE, DONC JE SUIS, 我思故我在。 — René Descartes

1.1 解释鸿沟与意识的难问题

意识是什么？千百年来，人们想要解释意识是什么，直到如今科学手段与工具也无法为提供一个准确而被广泛接受的理论。David Chalmers 不得不断言意识已无法被现有的理论解决。Chalmers 认为目前物理的理论无法解释意识的其中一个原因是：为什么物理过程必须要伴随着意识？

物理的方式其实更多的是机械论的方式，是将过程解释成具体的 process，但是意识不能被这样解释。一个人倘若按照“刺激-处理-反应”的行为模式进行设计，看起来意识似乎是可有可无的（后面会继续讨论这个问题），机器就可以完成这样的行为模式。这样的问题称为解释鸿沟（explanatory gap）。因此，David Chalmers 将意识形态问题称为 The Hard Problem of Consciousness^[2]，即解决为什么智能体会具有感质（qualia）或现象体验的，也就是如何从科学的角度来解释意识形态的问题。与之相反地是关于意识的简单问题(The Easy Problem of Consciousness)，即解决智能体是如何完成指定动作的过程，如何产生行为等问题。这也是人工智能的可以尝试解决的问题，通过模拟人类行为来赋予机器智能，学习使用各种不同的工具代替人类生产。在认知科学的发展下, alpha Go, 机器翻译和无人驾驶等技术的不断涌现，让很多人认为机器终有一天能够产生出意识，实现所谓的强人工智能。在那之前，人类依然需要弄清楚意识的来源是什么。

1.2 意识假说

意识是 21 世纪重要问题之一，而如今关于意识的假说大致可分为两类，分别是一阶表征理论和高阶理论(例如 Dispositionalist higher-order thought theory)。表征理论认为心智只不过是感觉信息的基础认知处理的过程，主要诉诸于透明性论证, 认为感受质就是所感知对象自身的质性, 而非主体的内在属性；而在高阶理论中，认为一阶表征理论无法对无意识的精神状态给予解释。意识体验不仅仅是相关感知的记录，还牵涉到某些以那种表征为基础的额外机制，比如能够意识到你在意识，而一阶理论仅仅涉及到你能够意识你在呼吸。具体来说，最广泛讨论的两种假说主要是 IIT 理论和 GWT 理论。

1.3 整合信息理论

以 Tononi 为代表的整合信息理论（IIT）^[3]，他们认为意识可以用基本的物理规则来衡量，如同经典力学的三大定律，用数学 Phi 来衡量物理系统意识的大小，综合信息理论（IIT）试图提供一个框架来解释为什么物理系统（如人脑）是有意

识的，为什么这些系统能感知到在特定状态中的特殊方式以及其他物理系统需要什么条件才能有意识。

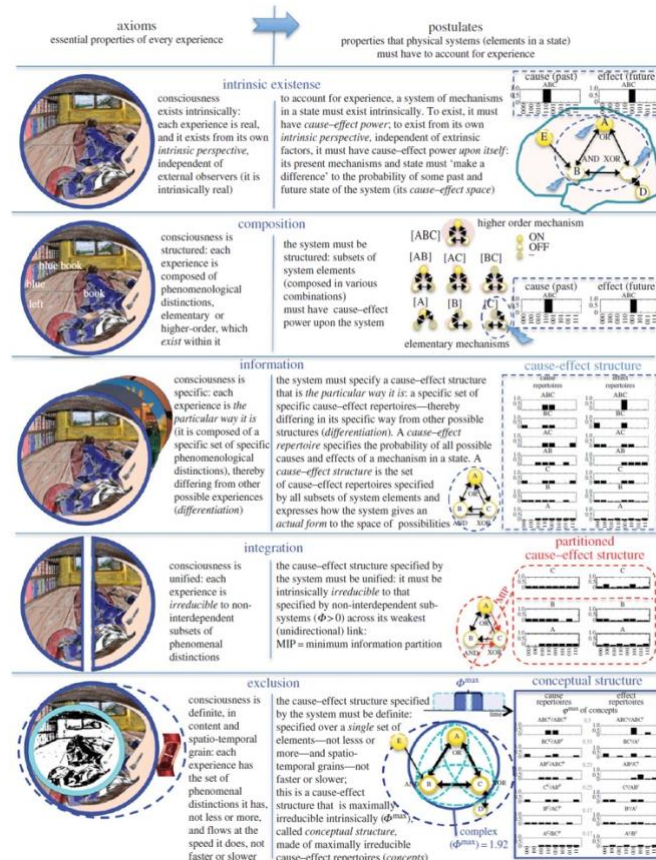


图 1. 整合信息理论论文

Tononi, Koch 等人相信 IIT 框架能够判断任何物理系统是否具有意识，在多大程度上是有意识的，以及它有什么特定的感受质 (qualia) 等问题。在 IIT 中，系统的意识被推测为与其因果属性相同，并且意识是**主观的**（只对于意识主体而言存在）、**结构化的**（它们与内容互相关联）、**具体的**、**统一的**（在一个时刻只有一个体验）、**受限的**（体验内容不是任意的），见图 x，并且基于这些公理能够推导出一个物理系统拥有一定程度的意识必须具有的属性，因此，这样的理论可以解释的其意识的形态的。

1.4 全局工作空间理论

另一种以 Dehaene 等人代表的全局工作空间理论 (Global Workspace Theory, GWT) [4]。他们认为意识并不是某种具有特殊结构的认知网络的固有性质，而是人脑对输入转换成输出时产生的东西。因此他们提出了与 IIT 相反的全局工作空间理论 (Global Workspace Theory, GWT)，他们假设意识与一个全局的“广播系统”相关联，而通常认为大脑的前额叶皮层控制着决策等更高阶的认知过程，这个系统在整个大脑中广播资讯。大脑中专属的智能处理器会按照惯常的方式自动处理资讯，这个时候不会形成意识。当人面对新的或者是与习惯性刺激不同的事物时，

各种专属智能处理器会通过合作或竞争的方式，在全局工作空间中对新事物进行分析以获得最佳结果，而意识正是在这个过程中得以产生[5]。

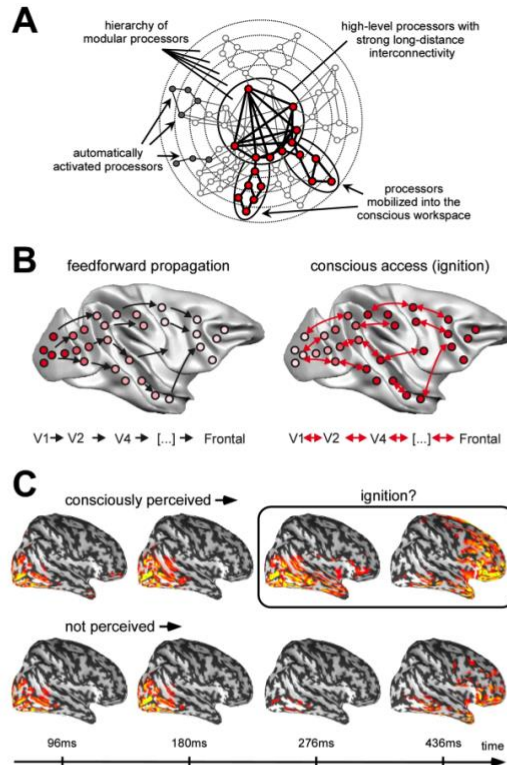


Fig. 1. Global workspace in the brain. **A.** Schematic illustration of GWT. Concentric circles depict peripheral (e.g. sensory inputs, motor outputs) vs. more central processes, with the global workspace at the center. Specialized modules process information independently from each other. Their outputs, when selected by bottom-up (saliency-based) or top-down (task-related) attention, can enter the global workspace. There, information processing is characterized by strong long-distance interconnectivity, such that incoming information can be broadcast to other modules. At any given time, a subset of the specialized modules is mobilized into the workspace in a data-dependent and task-dependent manner. The contents of the global workspace reflect our fluctuating consciousness. Redrawn from [10]. **B.** Mapping of GWT onto the (monkey) brain. Visual information can propagate through the visual system and activate certain frontal regions controlling behavioral output in a feed-forward way—in this case, information remains unconscious (left). When inputs are sufficiently strong or task-relevant (right), they activate local recurrent connections, resulting in “ignition” of the global workspace (a highly non-linear, all-or-none process, characterized by global recurrence across a network of long-range connections). Reproduced, with permission, from [15]. **C.** In certain experimental situations, the same sensory stimulus sometimes reaches consciousness (top row), and sometimes remains unconscious (bottom row). In human magneto-encephalography (MEG) recordings, the main signature of consciously perceived inputs is a late all-or-none activation (or “ignition”) of frontal regions, accompanied by sustained activity in sensory regions. Adapted, with permission, from [18].

图 2. Deep Learning and the Global Workspace Theory^[6]

1.5 总结

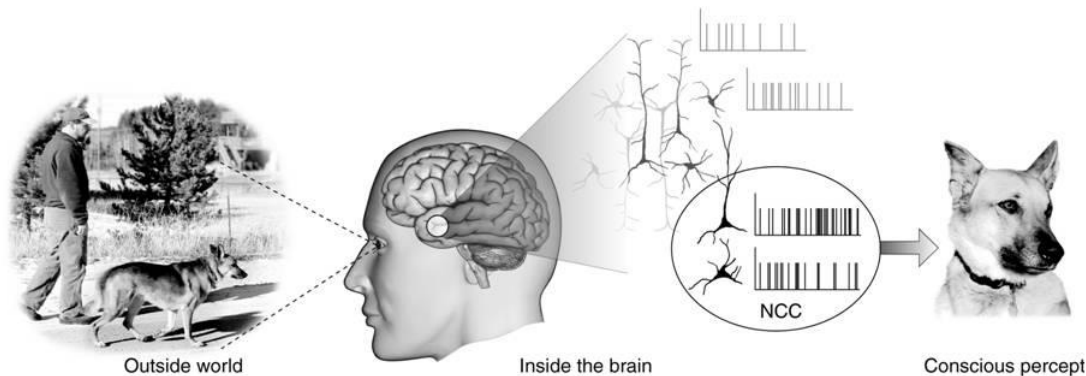
然而究竟哪一种观点正确的呢？多年来众多学者不断地尝试去验证理论的正确性。Christof Koch 将 IIT 理论称为“是如今唯一有前途的意识基础理论[7]，然而也有 GWT 的支持者例如 Searle 批评 IIT 理论是一种泛心论（Panpsychism）的观点，原因在于 IIT 最异乎寻常的特征之一是它认为意识是有程度之分的（IIT 中

用 Φ 来度量意识的程度），任何具有必要网络结构的系统都可能拥有意识。因此任何原子，单细胞生物，蚂蚁，人，国家甚至宇宙都可能都是有意识的存在[8]，只是由于意识的大小决定了所处的形态，意识必须以个体为载体，而 IIT 理论无法解释意识的载体是什么。因此 Searle 等人认为 IIT 理论是错误的。更多的关于 IIT 和 GWT 的讨论见[9]。

二、意识的物质基础与功能

2.1 意识相关神经区

最早进行意识的科学实验的是 Libet, Libet 等人用脉冲电直接刺激大脑皮层体感区，使被试者产生感觉。结果发现，人必须要有一定的刺激强度和一定的持续刺激时间才能产生知觉。因此，他认为意识的产生要求脑的一些部位的神经元在足够时间（可达 500 毫秒）内有足够的兴奋。这一实验表明，意识是因脑内神经活动而产生，意识并没有参与某一时刻大部分的动作行为的发生，意志和知觉不能引起神经元兴奋，它们只是神经元兴奋的结果。这似乎又是一个复杂的问题。通常人们认为意识的产生离不开具有复杂结构的大脑，然而大脑过于复杂 140 多亿个脑细胞构成，每个脑神经细胞都有许多神经树突，通过神经突触与其它脑神经相连。这些神经连接互相交织，形成一个庞大而繁杂的神经网络。人脑的这种结构决定了意识这种反应的对外形式和对内改变的复杂性。因此，从生理学角度出发，科学家们试图寻找到一个能够产生某种特定意识感的最小集合的大脑区域，这个区域集合叫做**意识相关神经区 (neural correlates of consciousness, NCC)**。那么关于 NCC 的相关研究都有哪些呢？虽然目前任何公认的最小的意识相关脑区还没有一个很好的标准。



图三. The Neuronal Correlates of Consciousness (NCC) constitute the smallest set of neural events and structures sufficient for a given conscious percept or explicit memory. This case involves synchronized action potentials in neocortical pyramidal neurons. ^[10]

2.2 NCC 相关实验

下面例举一些 NCC 主要工作：关于研究颞叶癫痫发作时的意识障碍同样伴随着额叶和顶叶联合皮层脑血流量的减少，以及中线结构（如丘脑背内侧）的增加^[11]；脑干和丘脑中的中线结构（midline subcortical structures）是调节大脑活跃程度所必需的，其中许多这些细胞核中的小双侧病变会导致意识的丧失^[12]；中线皮质下结构的相对局部双侧损伤也会导致丧失意识^[13]。丘脑的板内核 (ILN) 被认为是组成意识的关键。它们能够接收来自许多脑干（brainstem nuclei）的输入，并直接输送到基底神经节（basal ganglia），并以更分散的方式投射到大部分新皮质层（Neocortex）中。丘脑的板内核 (ILN) 发生病变会导致意识的瘫痪^[14]... 神经科学家认为人要意识到任何事情，NCC 必须处于相对较高的活跃状态 (arousal)，无论是在活跃状态下或快速眼动睡眠下，随着活跃程度的增加，人可能产生的行为的范围和复杂性也增加，神经科学家也发现在服药后或冥想期间，与正常的清醒状态相比，意识感知和洞察力可能会增强，NCC 活跃水平在昼夜节律中波动，但也会受到睡眠不足、药物和酒精、体力消耗等影响^[15]。不同的意识水平或状态与不同种类的意识体验相关联。“觉醒”状态与“梦”状态（例如，后者几乎没有自我反省）和深度睡眠状态有很大不同，大脑的清醒程度可以通过触发某些标准反应的信号振幅（例如，唤起眼睛运动或头部转向声源所需的声级）来行为测量，在临床上也常使用的格拉斯哥昏迷评分法（GCS）来评估患者的意识程度，即利用睁眼、语言和肢体运动三个方面的反应来衡量患者的昏迷程度。由于在时间和空间上精确操纵视觉知觉的可能性使视觉成为寻求 NCC 的首选方式，意识神经科学也从视觉上来研究意识，其中最经典的实验是 Necker Cube 实验，更多谈论见^[15]。

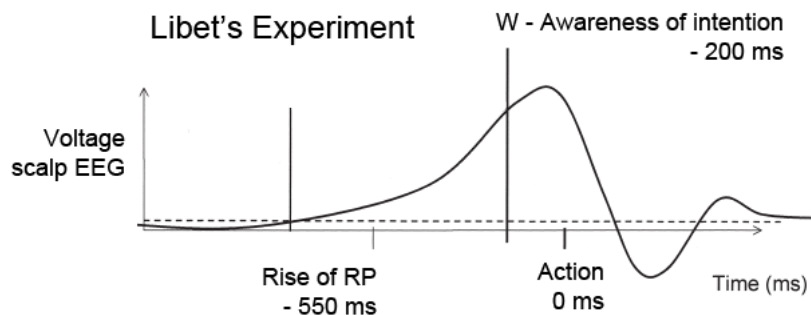
上述实验表明，人类意识的活动高度依赖意识相关神经区，并且结构十分复杂，关于 NCC 的研究也是脑科学研究的热点，未来还需要探索关于 NCC 更多的可能性。

三、意识功能

3.1 意识存在的必要性

然而基于如此多的讨论，意识发挥的作用是什么呢？人们相信意识最主要的功能是辨识真伪，即它可以辨识自己脑区中的表象是来自于外部感官还是来自于想像或回忆。然而人类真的需要意识吗？科学家发现许多响应感官输入的动作是快速、瞬态、定型和无意识的。有意识的系统实际上可能会对这些自动化程序进行一些干扰，例如专业运动员和画家在比赛或创造的过程中，过多意识的介入会干扰动作的连贯性或者灵感的涌现，因此意识并不总是有利的^[16]。Thomas W 等人认为^[16]，在人类进化过程中，意识对于任何功能优势都是没有必要的，其中没有人能够解释为什么功能上相当的非意识生物体（即哲学意识上的僵尸）不可能达到与有意识生物体相同的生存优势。如果进化过程对有意识的有机体 O 和非意识有机体 O* 的功能 F 之间的差异视而不见，那么就无从得知意识能提供什么优势。因此，对意识的解释得到了一些学者的青睐，他们认为意识不是为适应生存而进化出来的，而是作为一种附加物，例如由于大脑容量增加，皮层重新排列等其他发展而引起的一种副产品，就如同视网膜中的盲点，它不是视网膜的适应，而只是视网膜轴突连接方式的副产品^[17]。神经科学家们经过大量的实验发现，人的很多

种复杂的活动都可以在无意识介入的条件下短时间内完成。例如复杂的视觉处理（如在自然、杂乱的场景中检测动物）可以由人类皮层在 130-150ms 内完成，对于眼睛运动和有意识的感知来说是十分短暂的。Crick, Koch 等人^[17]指出有意识的感知需要通过从新皮质额叶区返回到感官皮层域的整体反馈，并且需要更长时间、更复杂的神经活动，这些区域会随着时间而积累，直到超过临界阈值才会发生。更多的，Benjamin Libet 1983^[18]也设计了一项实验来证明意识在行为决定之后产生，让实验参与者自由的决定是用左手还是右手食指按键反应，在有意识地决定移动手指或手腕时，他/她被要求注意屏幕上移动点的位置，同时扫描受试者额极皮层（frontopolar cortex）和顶叶皮层（parietal cortex）。发现了大脑准备电位（preparatory brain activity），给收拾比人有意识的选择运动要早几百毫秒（200ms 左右），他们认为饰演者在意识工作区介入之前已经开始做出了决定。



图四. libet 等人发现准备电位^[18]

因此，这些观点都在进一步地阐释出意识的功能并不是为了给人类提供决策，而是可能一种“后介入”，来否决之前大脑中预先产生的决策。在系统中瞬态的神经活动可以调解复杂的行为，而无需意识的参与，意识需要持续但组织良好的神经活动，依赖于远程皮质皮质反馈，意识并没有参与某一时刻大部分的动作行为的发生。意志和知觉不能引起神经元兴奋，它们是神经元兴奋的结果。然而，这是否意味着意识的产生就毫无用处？

3.2 意识与进化

从进化的角度来看，人类不可能生来就获得能够独自生存的行为，而是需要意识系统提供的注意力，学习，记忆等行李来模仿或探索出此类行为来适应生存这种复杂的行为之所以可能，是因为所涉及的子程序数量足够多，可以以最少甚至暂停的意识控制执行，例如攀岩与野兽搏斗。所需的感官运动协调所发挥的令人难以置信的精细运动技能。这也是为什么要想创造出能够适应复杂多变环境的新的智能体，如强人工智能，必须具有意识，否则永远按照[接受刺激-进行处理-做出反应]来行为不能称之为强人工智能。思想是在意识的基础上产生的，我们的感知能力帮助我们记忆，经过记忆和分析就产生思想，动物也有思想，它们的思想不是自发的，也有主观能动性，不只有人的思想是自觉的，丰富多彩的。意识在人的实践中分为各种形式，包括记忆、思想、情绪、念头、观念等。从表象的直观到一定现象的集合念头，最终逻辑地发展为观念，通过思考最终形成思想。

四. 意识非人类独有

4.1 剑桥意识宣言

意识是否仅为人类所有？2012年众多科学家联合签订了剑桥宣言否定了一直以来人们的意识是人脑所特有的观念，他们认为自我意识的产生并不依赖特定的大脑构造。宣言中列举了几种被广泛认同的证据证明人类并不是唯一拥有意识的生物。剑桥宣言列举了很多关于非人类具有意识的科学证据，其中包括：1. 人工唤醒非人类动物和人类相同的大脑区域会产生相应的行为和感觉状态，2. 用已知的会影响人类意识的合成物对非人类动物进行药物干预，会产生和人类类似的行为。2. 哺乳动物和鸟类的情感网络和认知神经链路似乎远比之前认为的更相似，某些种类的鸟类被发现表现出类似于哺乳动物的神经睡眠模式，包括 REM 睡眠。4. 支持注意力、睡眠和决策的行为的电生理状态的神经回路似乎早在无脊椎动物出现时就出现了，在昆虫和头足类软体动物中表现尤其明显...

*The Cambridge Declaration on Consciousness**

On this day of July 7, 2012, a prominent international group of cognitive neuroscientists, neuropharmacologists, neurophysiologists, neuroanatomists and computational neuroscientists gathered at The University of Cambridge to reassess the neurobiological substrates of conscious experience and related behaviors in human and non-human animals. While comparative research on this topic is naturally hampered by the inability of non-human animals, and often humans, to clearly and readily communicate about their internal states, the following observations can be stated unequivocally:

图五. 2012 年剑桥意识宣言^[19]

此外，1970 年 Gallup, Jr 等人制定了一个测试^[20]，试图通过判断动物是否能够辨别出它在镜中的像是它自己而评估动物的自我认知能力，之后喜鹊，大象，猕猴等生物都相继通过了测试。镜子测试类似的实验还证明了，人类婴儿出生后 6~12 个月左右时会把镜子里自己的影像当做玩伴，14~20 个月才开始有视觉自我识别能力去认知到那是自己。平均而言，在 18 个月大的时候约有一半的幼儿可以认知到镜子里是自己在精神分析领域这阶段称作“镜像期”，而到了青春期人的自我意识感知会得到一定的增强^[21]。

4.2 低等动物是否具有意识

因此，二十世纪科学界的观点趋向于认为具有新皮质的哺乳类都可能具有不同程度的意识和思维能力，然而由于低等动物结构过于简单，目前还并不认为低等动物不具备形成意识的物质基础。例如，2019 年，人类已经很好地模拟了秀丽隐杆线虫的 302~381 个神经元和它们之间的约 7000 个连接，没有发现它具备任何程度的意识^{[22][23]}。

在地球漫长的进化岁月里，意识并不是造物主赋予人类独有的馈赠，而是在演化过程中不断进化所产生的。然而，随着科学技术的进步，是否意味着意识是可以人为创造的呢？在如今人工智能的浪潮下，人类是否能将意识赋予给人工智能呢？这些讨论对于未来人类创造出能够代替人类生产的人工智能来说意义重大

五. 人工智能与意识

5.1 功能主义与连接主义的争论

人工智能是否需要意识？例如用计算机去模拟蚂蚁的脑，功能主义主张强人工智能，认为人类大脑或生物大脑并不是实现智能的必要条件，断言智能是可以多重实现的，也就是说智能的核心在于演绎的算法，而其物理实现的平台是次要的，大脑是实现智能的充分条件，但硅基的半导体也可能实现类似于人类的智能，甚至可以全面地超越人类智能，最典型的是 Alan Turing 提出的图灵测试，认为倘若一个系统能够通过图灵测试，那么可以认为在一定程度上拥有意识。这种观点受到了 John Searle 等人的强烈反对，反对者们设想出了一种中文房间的实验来反驳功能主义的观点：设想在一个密闭的房间中，有一个完全不懂任何中文的人类。他手上有这两样东西，所有的中文字符（数据）和处理中文字符的规则书（程序）。当门外有人传进来中文纸条时，房间里的人总能根据受伤的规则书得出一个准确的输出，并把正确回答传递出去。按照图灵测试的标准，房间里的人被认为具有理解中文的智能，然而，实际上他对中文的语义一无所知，看起来中文房间揭示出图灵测试的理论的不足，但中文房间也受到了哲学家们的质疑，更多讨论见^[24]。

联结主义认为人类的智能基于大脑的神经元组织，因此机器智能来源于对人脑的仿生。假设大脑的神经元组织的运行是一种广义的算法，那么人工智能就可以以算法模拟人类大脑的智能机制来实现类似于人类的智能。凡是持弱人工智能立场的学者大多主张这种“仿生”人类大脑的人工智能，如 Hubert Dreyfus 所说：“我们应当以建立大脑模型，而不是建立心灵关于世界的符号表述的模型的方式来创造人工智能。”由于这种算法模拟的困难，机器智能只能逐渐逼近和局部实现类人智能，并不能全面达到比肩于人类的智能。并且 charmer 也认为实现了 Easy Problem 并不意味着 Hard Problem 的解决^[25]

人工智能是当代哲学讨论的基本问题之一。人工智能带给我们生产力的提高的同时，也很可能在某一天改变甚至决定着人类未来历史发展的走向，人类需要更加了解自己才能把人与人工智能真正划清界限，迎接未来挑战。关于意识的研究意义重大，道阻且长，未来还需要更多新的讨论和研究来解决这一人类的重大问题。

参考文献

- [1] Wikipedia:<https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E6%84%8F%E8%AF%86>.

- [2] Searle JR. Social ontology: Some basic principles. *Anthropological Theory*. 2006;6(1):12-29. doi:10.1177/1463499606061731.
- [3] Tononi, G., Boly, M., Massimini, M. et al. Integrated information theory: from consciousness to its physical substrate. *Nat Rev Neurosci* 17, 450 - 461 (2016). <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.44>.
- [4] Bernard J. Baars, Global workspace theory of consciousness: toward a cognitive neuroscience of human experience *Progress in Brain Research* Volume 150, 2005, Pages 45-53.
- [5] Baars, Bernard J. (1988), *A Cognitive Theory of Consciousness* (Cambridge, MA: Cambridge University Press).
- [6] Rufin VanRullen, Ryota Kanai. Deep Learning and the Global Workspace Theory. *ariv:2012.10390 [cs.AI]*.
- [7] Carl Zimmer. Sizing Up Consciousness by Its Bits. *New York Times*. September 20, 2010 [2010-09-20].
- [8] Robert Koch, 意识：浪漫主义还原论的自白, 2012.
- [9] 神经现实, 神经科学家们正准备检验他们的意识起源理论：意识即体验到自我存在的认知状态。
<https://neu-reality.com/2019/04/consciousness-ideas/>.
- [10] Adamantidis A.R., Zhang F., Aravanis A.M., Deisseroth K. and de Lecea L. (2007) Neural substrates of awakening probed with optogenetic control of hypocretin neurons. *Nature*. advanced online publication.
- [11] Fredricks JA, Blumenfeld PC, Paris AH. School Engagement: Potential of the Concept, State of the Evidence. *Review of Educational Research*. 2004;74(1):59-109. doi:10.3102/00346543074001059.
- [12] Impaired consciousness in epileptic seizures of the temporal lobe was likewise accompanied by a decrease in cerebral blood flow in frontal and parietal association cortex and an increase in midline structures such as the mediodorsal thalamus.
- [13] Koch, Christof (2004). *The quest for consciousness: a neurobiological approach*. Englewood, US-CO: Roberts & Company Publishers. ISBN 978-0-9747077-0-9. p.92.
- [14] Bogen J.E. (1995) On the neurophysiology of consciousness: I. An Overview. *Consciousness and Cognition* 4: 52 - 62.
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Neural_correlates_of_consciousness#cite_ref-Kandel2007p382_6-0
- [16] Harnad, Stevan (2002). "Turing indistinguishability and the Blind Watchmaker". In Fetzer, James H. (ed.). *Consciousness Evolving*. John Benjamins. Retrieved 2011-10-26.
- [17] Crick, F. and Koch, C. (1995) Are We Aware of Neural Activity in Primary Visual Cortex? *Nature*, 375, 121-123. <http://dx.doi.org/10.1038/375121a0>

- [18] Libet B, Gleason CA, Wright EW, Pearl DK. Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain*. 1983 Sep;106 (Pt 3):623-42. doi: 10.1093/brain/106.3.623. PMID: 6640273
- [19] The Cambridge Declaration on Consciousness*. <http://fcmconference.org/img/CambridgeDeclarationOnConsciousness.pdf>
- [20] Gordon G. Gallup, Jr., James R. Anderson, and Daniel J. Shillito. The Mirror Test. <https://courses.washington.edu/ccab/Gallup%20on%20mirror%20test.pdf>
- [21] Lewis, M.; Brooks-Gunn, J. (1979). Social cognition and the acquisition of self. New York: Plenum Press. p. 296. ISBN 978-0-306-40232-6
- [22] Cook, S.J., Jarrell, T.A., Brittin, C.A. et al. Whole-animal connectomes of both *Caenorhabditis elegans* sexes. *Nature* 571, 63 - 71 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1352-7>
- [23] Pircher, T., Pircher, B., Schlücker, E. et al. The structure dilemma in biological and artificial neural networks. *Sci Rep* 11, 5621 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84813-6>
- [24] Cole, David, "The Chinese Room Argument", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2020 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/chinese-room/>
- [25] Chalmers, David (1995). "Facing up to the problem of consciousness" (PDF). *Journal of Consciousness Studies*. 2 (3): 200 - 219.