

## 章节修订历史

本表格记录修订版本之间的重大改动。类似简单说明或者变更格式这样的细微修改并不会加以记录。

版本号	改动日期	改动内容	负责人
0.4		Initial release	J. Hawkins

## 生物智能与机器智能：引言

二十一世纪是人类演化的分水岭。人类正在揭开人脑运作的奥秘，并且开始制造基于相同原理的机器。我们把这个时期看作是机器智能时代的开端。机器智能会极大地带动有益的技术应用和科学进步。

大多数人会凭着直觉估计理解人脑的运作方式能够带来的价值。显而易见的是，脑科学理论可以帮助发展精神疾病的治疗和预防、指导我们更好地教育下一代等等。这些确实确实的好处肯定了对人脑进行逆向工程所需要的巨大付出。但是，实际的好处不仅仅是这些短期的、实在的价值。人脑定义了我们这个物种。大多数方面而言，我们不是什么了不起的物种，除了与众不同的头脑。人脑的巨大尺寸和独特设计，是人类之所以能够主宰这个星球的答案。确实，人脑是我们所知的世界里唯一能够创造并且分享知识的东西。我们的头脑既能够探索过去，也能够预见未来，还能够探索现在的奥秘。所以，如果想追求我们的本相、如果想加深对宇宙的认识、如果想探索新的领域，就需要对我们如何认知、如何学习、如何制造智能机器有清楚的理解，以便掌握更多知识。脑科学和机器智能的终极回报是获取并传播新知识，随之而来的还会有带给社会的无数的好处。机器智能对我们日常生活的益处将会与可编程计算机持平，并且最终超越后者。

但是准确地说，智能机器如何运作？并且做什么呢？如果你向门外汉建议说，制造智能机器要先理解人脑如何运作，在此之后才可以制造出工作原理相同的机器。他们一般会觉得很很有道理。但是，如果你向人工智能或者机器学习学者提出相同的想法，大多数不会同意。最常见的反驳一般是，“飞机无需扇动机翼就可以飞行”。也就是说人脑实际怎么运作并不重要，或者情况更坏，研究人脑会让你误入歧途，如同制造通过扇动翅膀飞行的飞机。

这种类比既是误导，也是对历史的误解。Wright 兄弟和其他的航空先驱是理解飞行原理与推进力需求之间的区别的。鸟类的翅膀和飞机的机翼基于相同的空气动力学原理，并且这些原理必须在 Wright 兄弟可以制造出飞机之前被掌握。确实，他们研究过鸟类如何滑翔，并且在风洞中测试过翅膀的形状以便学习如何升空。扇动翅膀不一样，它是一种推进方式，相对于制造可以飞行的机器而言，使用何种特定的推进方案并不特别重要。按照类似的方式，在我们能够制造智能机器前，我们需要理解智能的原理。众所周知，智能系统的唯一参考只能是脑，并且智能的原理并非显而易见，必须研究人脑以便掌握它们。不过，正如飞机和鸟类，我们没有必要照搬人脑所做的一切工作，也没有必要按照人脑的方式实现智能原理。借助软件行业和硅工艺的大量成果，我们能够以新颖而令人激动的方式创造智能机器。制造智能机器的目的不是复制人类行为，不是构建人脑，也不是创造机器做人类的事情。制造智能机器的目的是创造和人脑运作原理相同的机器，能够学习、探索、适应种种计算机不能而人脑可以的情况的机器。

所以，我们在本书中描述的机器智能原理源于对脑的研究。我们使用神经学的术语描述大多数原理，以及这些原则在大脑中的实现方式。这些智能原理无需参考人脑就可以理解。但是在不久的将来，结合人脑的生物模型理解这些原理最容易，因为大脑会面向众多开放性问题的解决方案继续提供建议和约束。

这种机器智能方法不同于传统的 AI 和人工神经网络。AI 技术专家试图通过把规则和知识编码到软件和人为设计的数据结构中制造智能机器。这种 AI 方法成功解决了很多特定问题，然而并没有给出通用的机器智能方法，并且在大多数情况下并没有解决机器如何学习的问题。人工神经网络 (ANN) 是利用简单处理元件组成的网络的学习系统。最近几年，ANN (一般称作“深度学习网络”) 成功解决了很多分类问题。但是，尽管有“神经”这个词，大多数 ANN 立足的神经模型和网络结构与真实的生物组织并不相容。更重要的是，由于偏离了已知的脑原理，ANN 没有给出明确的制造真正的智能机器的方法。

传统的人工智能和人工神经网络通常用来解决特定类型的问题，而不是提出通用的智能理论。相反，我们知道，脑是利用相同的原理处理看、听、触摸、语言和行为的。这一引人注目的事实最早是由 Vernon Mountcastle 于 1979 年提出的。他说，视觉皮层并非是关于视觉的，同样听觉皮层也不是关于听觉的。新皮质的每个区域执行相同的基本操作。视觉皮质接收来自眼睛的输入，所以才是视觉皮质；听觉皮质接收来自耳朵的输入，所以才是听觉皮质。根据几十年的脑科学研究成果，我们现在知道了这个推测是正确的。该发现的一些推论非常惊人。比如，神经解剖学告诉我们，新皮质的每个区域都拥有感知和驱动功能。因此，视觉、听觉和触觉是相互协调的感知-驱动模式下的知觉。我们无法构建可以像人类那样看和听，却不包括眼睛、躯体和四肢的运动能力的系统。

新皮质使用通用算法做每件事情，这个发现既优雅又偶然。它告诉我们，要了解新皮质是如何运作的，我们必须寻求普适的解决办法，因为它们适用于新皮质的每一种感官和能力。把视觉看作“视觉问题”是误导。相反，我们应该把视觉看作“感知-驱动问题”，探求为什么视觉与听觉、触觉和语言是一样的。一旦我们理解了通用的皮质原理。我们就可

以把它们运用到任何感知和行为系统中，甚至是那些在生物学上还没有与之类似的系统。这本书描述的理论和方法正是源于这个想法。无论我们是构建利用光来看的，还是利用雷达或者直接感知 GPS 坐标来“看”的系统，内在的学习方法和算法都是一样的。

如今，我们对新皮质的运作方式有了足够的了解，我们可以构建实用的系统来解决当前有价值的问题。当然，关于脑和新皮质我们仍然有很多东西不理解。尽可能清楚地定义我们的无知非常重要，所以我们有一份待办事项的路线图。这本书反映了我们一部分知识的状况。目录表列出了所有我们预估需要理解的主题，但是只有一些章节已经写完了。尽管有很多主题我们尚未理解，但是我们相信，在理解智能的一些核心原理以及大脑如何运作的方面，我们已经取得了足够的进展，机器智能领域会比过去更快地向前发展。机器智能领域有望取得飞速的发展。

## 层次时序记忆

层次时序记忆，或者 HTM，是我们描述关于新皮质如何运作的总体理论的名称。它也是我们描述基于新皮质原理的机器所使用的技术的名称。因此，HTM 是面向生物智能和机器智能的理论框架。

术语 HTM 包含了新皮质的三个显著特征。第一，最好是把新皮质看作“记忆”系统。新皮质必须在流入脑的感知模式过程中学习环境的结构。每个神经元都是通过形成链接来学习的，并且新皮质的每个区域最好被理解成一种记忆系统。第二，新皮质的记忆主要是随时间变化的记忆，或者“时序”模式。新皮质的输入和输出是持续变化的，通常在一秒内会变化数次。新皮质的每个区域都学习其输入信息的时序模型，进而预测不断变化的输入流，以及回放驱动指令的序列。最后，新皮质的区域是按照逻辑的“层次”连接的。因为新皮质的所有区域都执行相同的基本记忆操作，详尽了解其中某个区域会引导我们理解新皮质其他区域的运作方式。这三个原理，“层次”、“时序”模式和“记忆”，不仅仅是智能系统不可或缺的原理，也作为表示总体方法的名称。

尽管 HTM 是受到生物学约束的理论，并且或许是最能模拟生物学上新皮质脑区的运作理论，但是它并不试图把所有的生物学细节包含进来。比如，在神经元的放电过程中，新皮质表现出数种节律行为。毫无疑问，这些节奏对于生物学的脑是必不可少的。但是 HTM 理论不包含这些节奏，因为从信息论角度看，我们不认为它们起到了重要作用。我们最好的猜测是，生物学的脑需要这些节奏来同步动作电位，但是我们在 HTM 的软件和硬件中没有实现这个部分。如果以后我们发现这些节奏不仅仅对脑有用，对智能也至关重要，我们会修改 HTM 理论把它们添加进来。还有很多类似的生物学细节在 HTM 理论中并不存在。HTM 中的每个特征之所以存在，都是因为从信息论角度看我们有对应的需求。

HTM 也不是关于整个脑的理论。它只包含新皮质及其与一些紧密相关的结构的交互，比如丘脑、海马体。新皮质是智能的主要栖身之所，但是它不负责情绪、内稳态和基本行为。那些功能由脑的其他演化历史更久的部分执行。脑的这些更古老的部分在演化的压力下生存了更长时间，尽管它们由神经元组成，但在结构和功能上是多样的。我们对模仿整个人脑或者制造拥有类似人类的情感和意愿的类人机器不感兴趣。因此，正如我们定义的那样，智能机器不可能通过图灵测试，或者像科幻小说中的人形机器人那样。这种区别并不意味着智能机器的效用是受限的。很多机器会单纯、不知疲倦地筛选大量数据以便寻找不常见的模式，其他的会相当快速、聪明，能够探索人类不太适合的领域。我们将在智能机器中看到的变化会类似于我们在可编程计算机中看到的。有些计算机很小并且被嵌入到汽车和电器里，其他的则占据整个建筑或者分布在各个大陆上。智能机器的尺寸、速度和应用程序也会有类似的多样性，但它们可以学习，而不是被设定好。

HTM 理论不能用一个或几个数学方程式简练地表达出来。HTM 是一组通过协同运作产生感知和行为的原理。在这方面，HTM 很像计算机。计算机不能纯粹地用数学方式描述。我们理解它们的运作原理、可以模拟它们、可以用形式数学来描述部分的计算机科学，但是最终，我们必须凭借经验构建并且测试它们以便刻画它们的效果。与之类似，HTM 理论的有些部分可以用数学方式解释。比如，本书中稀疏分布表征这一章主要是关于稀疏表征的数学特征。但是 HTM 理论的其他部分不太适合形式主义。如果你正在寻找一个简练的关于智能的数学表达式，那么你不会发现的。这样看来，脑理论更像是遗传论，而非物理学。

## 什么是智能？

在历史上，智能是用行为术语来定义的。比如，如果某个系统可以玩国际象棋、开汽车或者回答人类提出的问题，那么它就表现出了智能。图灵测试是这种思路的最知名的例子。我们认为这种定义智能的方式在两种观点上是失败的。第一，对于生物世界存在的很多种不同于人类的智能，大多数行为测试会失效。比如，海豚、猿猴以及人类都是智能物种，但是其中仅有人类能够玩国际象棋或者开汽车。与之类似，智能机器将拥有从类似鼠类到超级人类的各种能力，更重要的是，我们会用智能机器解决生物世界无法对应的一些问题。过于关注类人表现是有局限的。

我们反对基于行为的智能定义的第二个理由是，他们没有意识到新皮质难以置信的灵活性。新皮质使用相同的算法运作所有的功能，这种灵活性让人类在演化中遥遥领先。人类可以自然而然地学会执行大量前所未有的任务，是因为我们的大脑运用几乎适用于所有任务的学习算法。新皮质看的方式和它听或者感觉的方式是一样的。这种普通的方法创造了人类的语言、科学、工程和艺术。如果我们把智能定义为解决特定的任务，比如玩国际象棋，那么我们倾向于创造明确的解决方案。比如能够赢得国际象棋比赛但是学不会开车的程序。我们需要理解并且嵌入到我们的智能机器中的是生

物智能的灵活性，而非解决特定问题的能力。专注于灵活性的另一个好处是网络效应。新皮质可能并不总是最擅长解决任何特定的问题，但是它很适合解决成堆的问题。软件工程师、硬件工程师、应用程序工程师会自然地追寻最普适的解决方案。随着更多投资集中在普适的解决方案上，它们会比其他专用方法发展得更快、更好。网络效应在技术世界已经运用多次，这个过程也会发生在机器智能领域。

因此我们通过系统表现出来的灵活程度，即学习的灵活性和行为的灵活性，来定义它的智能。因为新皮质是我们知道的最灵活的学习系统，所以我们通过系统包含的新皮质原理的数目来衡量系统的智能。这本书是一次枚举和理解新皮质原则的尝试。任何包含在这本书中提及的所有原则的系统都会表现出类似新皮质的灵活性，所以是类皮质的智能。通过放大或者缩小系统并将它们运用到不同的传感器和实施方案，我们可以创造出各种各样的智能机器。这些系统有很多要比人类的新皮质小得多，有些的存储容量会大得多，但它们都是智能的。

## 关于本书

本书的结构可能与您以前读过的那些书不同。首先，它是一本“活书”。我们发布一些已经完成的章节，首先包括理论里面最容易理解的几个方面。一些章节可能会以草稿的形式公布，但是其他的会更为成熟。在未来的一段时间内，这本书将是一项持续进行的工作。我们有整本书的目录，但是这也会随着研究的进展发生改变。

第二，这本书面向技术群体，但是受众广泛。神经学家会认为这本书很有帮助，因为它为解释很多的生物学细节和引导实验提供了一种理论框架。计算机科学家可以使用书中的材料开发基于神经学原理的机器智能硬件、软件和应用程序。任何对人脑的运作原理以及机器智能抱有浓厚兴趣的人都会有望从这本书找到最好的素材。最后，我们希望学者和学生能够感受到这是一份全面介绍一个重要新兴领域的材料，进而能够佐助他们今后的研究和探讨。

本书各章的结构因主题而异。一些章节实际上是概述。一些章节包括了数学公式和习题集，方便读者练习新掌握的知识。一些章节包含伪代码。重要的引用会注明，但是我们不打算对该领域所有完成的工作给出详尽的引用注释。因此，我们由衷地鸣谢那些没有明确提及的众多先驱，他们的工作成果是我们的基石。

现在我们已经准备好深入地了解生物智能和机器智能的细节了。

## Copyright 2010-2017 Numenta, Inc.

Numenta owns copyrights and patent rights on documentation related to Hierarchical Temporal Memory (HTM). This documentation may include white papers, blog posts, videos, audios, wiki pages, online books, journal papers, manuscripts, text embedded in code, and other explanatory materials. Numenta grants you a license to translate any or all of these materials into languages other than English, and to use internally and distribute your translations subject to the following conditions: Numenta specifically disclaims any liability for the quality of any translations licensed hereunder, and you must include this text, both in this original English and in translation to the target language, in the translation. The foregoing applies only to documentation as described above – all Numenta software code and algorithms remain subject to the applicable software license.

版权 2010-2017 Numenta, Inc.

Numenta 拥有层次时序记忆 (HTM) 模型有关的文档的版权和专利权。本文档可能包括白皮书，博客文章，视频，音频，维基页面，在线图书，期刊论文，手稿，代码中嵌入的文字和其他说明材料。Numenta 授予您将任何或所有这些材料翻译成英语以外的语言的许可，如果您在内部使用或转与他人，请在以下条件分发您的翻译：Numenta 特此声明对本协议许可的任何翻译的质量不承担任何责任，您必须同时提供英文原文和翻译成目标语言的文字。前述内容仅适用于上述文档 - 所有 Numenta 软件代码和算法仍然适用于相关软件许可。