

《控制论和科学方法论》

笔记

金观涛华国凡著

大龙在这里呢

2018-01-26

目录

序言	4
第一章 控制和反馈	4
1.1. 可能性空间	4
1.2. 人通过选择改造世界	5
1.3. 控制能力	5
1.4. 随机控制	5
1.5. 有记忆的控制	6
1.6. 共轭控制	6
1.7. 负反馈调节	7
1.8. 负反馈如何扩大了控制能力	7
1.9. 正反馈与恶性循环	7
第二章 信息、思维和组织	8
2.1. 什么是知道	8
2.2. 信息的传递	8
2.3. 信息是一种客体吗	8
2.4. 通道容量	9
2.5. 滤波：去伪存真的研究	9

2.6.	信息的储存	10
2.7.	信息加工和思维	10
2.8.	信息和组织	11

序言

控制论思想的源流由三条支流汇成。

一条是数学和物理的发展。（吉布斯）统计力学，量子力学的建立。不少科学家认为：与其说我们这个世界是建立在必然性之上的，倒不如说是建立在偶然性之上的，许多物理定律仅仅是大量事件统计平均的结果。科学的发展迫使人们回答必然性和偶然性之间的关系。于是，确定性与非确定性以及它们之间关系的研究就成为科学界最热门的课题。概率论的成熟，热力学中的熵直至信息概念的提出，就是这一研究的逐步深入。

另一条支流是生物学和生命科学的进展。科学家早就发现，生物界不是一个充满必然性的机械世界，生物个体行为也不能用统计力学和量子力学所用的纯或然语言来刻画。生命的活动既有或然性，也有必然性。生命是怎样把必然与偶然统一起来的？科学家对生命的机制发生了浓厚兴趣。直到提出“内稳定”概念，才将认识推进到新的阶段，为控制论诞生奠定了基础。

第三条支流是人类对思维规律的探讨。它集中地反映在计算机制造和数理逻辑的进展。数学家特别是计算机的研制者们企图用数学语言来模拟人的思维过程。计算机的制造成为控制论成熟的前奏。

1947年，维纳发表《控制论》。

第一章控制和反馈

1.1. 可能性空间

共性：1.被控制的对象必须存在多种发展的可能性。

2.人可以在这些可能性中通过一定的手段进行选择，才谈得上控制。

我们将事物发展变化中面临的各种可能性集合称为这个事物的可能性空间。它是控制论中最基本的概念。

1.2. 人通过选择改造世界

为什么事物的可能性空间不止一个状态呢？因为事物变化具有“不确定性”。事物的矛盾性，使事物的可能性空间至少面临着肯定自身和否定自身两种状态。

从不确定性的角度来看待事物的发生和发展，是现代科学和经典决定论的一个重要区别。

事物发展的可能性空间，或事物的不确定性，是由事物内部的矛盾决定的。人们根据自己的目的，改变条件，使事物沿着可能性空间内某种确定的方向发展，就形成了控制。控制，归根到底是一个在事物可能性空间中进行有方向的选择的过程。我们不难发现，人类从衣、食、住、行到变革自然的实践活动都和选择密切相关，走路是不断选择自己在空间的位置。制造工具是选择各种材料及材料的组合。现代生产时更复杂更严格的选择过程。

因此，一切控制过程，实际上都是由三个基本环节构成的：

- (1) 了解事物面临的可能性空间是什么。
- (2) 在可能性空间中选择某一些状态为目标。
- (3) 控制条件，使事物向既定的目标转化。

1.3. 控制能力

我们把实行控制前后的可能性空间之比称为控制能力。

如果某一事物的可能性空间为 M ，实行控制后，可能性空间缩小为 m ，那么控制能力就是 M/m 。如果可能性空间状态为无限多，并且相互连续，我们可以用面积大小的比例来表示它。

控制的方法：随机控制，有记忆的控制，共轭控制，负反馈控制等。它们是一切复杂控制方法的基础。

1.4. 随机控制

控制就是可能性空间的缩小。随机控制也是可能性空间缩小的过程，不过它有一个特点，就是在随机控制过程中，系统的可能性空间只有在达到目标值时才

缩小，不达到目标值时，可能性空间不缩小。随机控制方法也称为寻找或探索。

随机控制的应用非常广泛，效果又很直观。人们遇到棘手的科学问题时，即使对解决问题所必需的条件完全不了解，对于对象的性质一无所知，仍然可以采用随机控制的方法来找到问题的答案。

随机控制在很大程度上依赖选择速度。第二，目标要在探索范围之内。

1.5. 有记忆的控制

随机控制的缺点是如果碰得不巧，要花费很长时间才能碰上目标。这样我们就面临着改进随机控制的问题。一个常用的办法是加一个记忆装置，使随机控制成为有记忆的。

所谓一个选择者具有记忆力，就是指，凡被证明不是目标的状态就不再当作选择对象了，这些状态将从下一个可能性空间中排除出去。与无记忆的控制比较，有记忆控制的可能性空间在到达目标值之前是随着选择次数逐一缩小的。很明显，这就提高了控制的效率，可以较迅速地找到目标。

1.6. 共轭控制

一件工具发明出来，开始的时候它的使用范围也是有限的，人们为了完成更复杂的工作，又得研究使用工具的方法及使用工具的工具。人类在自己历史的每一个阶段，总要面临着一大堆在当时拥有的控制手段无法直接完成而又需要完成的工作，也就是扩大自己的控制范围的问题。当人们要扩大控制范围的时候，通常要用到一种叫共轭控制的方法。它包含了一切工具的控制原理，它专门研究如何将一件人们无法完成的工作变成能够完成的工作。

象的重量转换成石头的重量的过程用 L 表示，称出石头的重量用 A 表示，将石头的重量转换成象的重量用 L^{-1} 表示。三步连起来 $L^{-1}AL$ ，大象的重量就出来了。

数学书一般把 $L^{-1}AL$ 称作 A 过程的共轭过程。我们将 $L^{-1}AL$ 称作与 A 共轭的控制方法，它通过 L 变换和 L^{-1} 变换，把我们原来不能控制的事变为可以控制的 A 过程去完成， A 的控制范围在实行了 L 和 L^{-1} 变换后扩大了。

现代自动控制设备中， L 称为感受器， L^{-1} 称为效应器。

眼睛是感受器，手是效应器。

人类使用共轭控制的方法还可以追溯到数字和语言的起源。人类只有在把思想变换成语言和符号来交流和思维之后，才真正使大脑发达起来，成为一个有文明的物种。

共轭控制揭示了人类使用工具过程的本质。也许有人会问，把使用工具这么一件直观的事情表述成那样复杂的一种结构，有什么意义呢？其意义在于运用控制论方法后，就可以用数学语言来确切地描述这一过程了，并且可以把很多数学上关于共轭控制的成果运用到制造和使用工具的研究中去，得出许多凭直观想象不到的结论来。

1.7. 负反馈调节

负反馈调节机制必定要有两个环节：

- 1.系统一旦出现目标差，便自动出现某种减少目标差的反应；
- 2.减少目标差的调节要一次一次地发挥作用，使得对目标的逼近能积累起来。

1.8. 负反馈如何扩大了控制能力

负反馈是一种趋向目的的行为。当一次控制能力不能达到目的时，可以用负反馈调节放大控制能力。

1.9. 正反馈与恶性循环

正反馈描述目标差越来越大的过程。

第二章信息、思维和组织

2.1. 什么是知道

所谓“知道”，是指人获得信息的过程，而怎样才能“知道”，就是信息怎样传递，怎样获得信息的过程。

所谓“知道”，实际上就是我们头脑中关于事物变化可能性空间变大或变小的过程。在绝大多数情况下，可能性空间变小。

必然发生的概率为 1，必然不发生的概率为 0；使用以 2 为底的负对数来计算信息量，单位称为比特。

信息概念量化以后，人们找出了许多有关信息传递和存储的规律，使有关通讯和控制的理论变得既严密又精确，成为真正现代意义下的科学。

2.2. 信息的传递

信息源、信息的接受者、传递通道。所谓传递，就是信息源和接受者两个系统之间的联系，就是一事物对他事物的影响。

信息的传递是指可能性空间缩小过程的传递。

信息和控制的这种依存关系反映了认识论中知和行的统一，知表示获得信息，行表示实行控制。人们只有对外部世界有所认识，才可以能动地去改造它。反之，人们只有参与对外部世界的改造，才能够获得对它们的真知。传递信息和实行控制的过程都贯穿着事物可能性空间的变化，并且它们之间存在着一定的质和量的约束关系，这就深刻地揭示了知和行在本质上是统一的。

2.3. 信息是一种客体吗

信息是主客体之间的桥梁，不是纯粹的客体。

2.4. 通道容量

控制论中有一条原理：在单位时间里要传递某一数量信息时，选择的通道容量不要太大，也不要太小，最好等于你所要传递的信息量。为什么呢？通道容量太小，信息量不能及时地传出去，这是显而易见的。那么通道容量太大了又有什么坏处呢？一是没必要，并且可能造成浪费。二是随着通道容量的增大，信息受到的干扰也会增加，搞得不好会得不偿失。

当信息传递时，可辨状态的控制能力减弱或失去控制能力时，我们说，信息的传递受到了干扰。

根据信息传递过程的三个基本环节可以把干扰分为三类：

1. 干扰发生在人控制通道的可辨状态过程中，这称为控制干扰；
2. 干扰发生在信号自然传递中，或某些外来因素影响了通道的可辨状态，这称为自然干扰或噪音。
3. 干扰发生在人接受信号过程中，这通常称为主观干扰。

干扰使信息畸变、失真，使人们的认识不能正确地反映客观世界的本来面目。人类意识的能动性不仅在于对客观世界的改造作用，而且还贯穿在整个认识过程的始终。人类从开始传递信息的第一天起，就在和干扰作斗争，这在控制论中称为“滤波”。它反映了人类能动地认识世界的一个重要方面，使人类的观察力区别于镜子的反射。因此，研究有关滤波的理论，不仅是通讯工程的任务，也是认识论的一项重要课题。

2.5. 滤波：去伪存真的研究

千百年来，人们积累了许多对付干扰的方法，其中许多已被科学家和工程师采纳，在通讯技术中形成了一整套滤波理论，有的被人们广泛地应用于实践，成为科学方法论的一个部分。下面我们来研究几种与滤波有关的方法问题。

1. 最直观的方法是让信息沿着同一通道重复传递。（把得到结果相互核对。对于排除随即发生的、偶然的干扰有效）
2. 更好的一种滤波方法是，用完全不同的通道来传递同一个信息，再把各种结果拿来对比、分析。（防止系统的、有规则发生的干扰）
3. “阻抗滤波法”：无线电中电容器通不过低频信号但能通过高频信号，电

感则相反。所谓阻抗滤波，就是找到干扰和携带信息信号的本质差别，用一种装置或手段让干扰信号通不过去，而携带信息的信号能顺利通过。

4. 当信息传递中遇到的干扰主要是主观干扰时，通常采用的滤波法是：让信息和它的重要性放在一起传递出去，用控制论的术语说就是让信息带上“情调”。（如焦急的语调，交通信号灯的颜色等）。
5. 反馈滤波法：利用收到的有用信号和通道相互作用，以便抑制无用信号通过。（如嘈杂环境中的讲话）。
6. 同步滤波：利用信号和开关的同步来滤波。有信息打开，无信息关闭。在信息传输的过程中，信息量服从一条规律：它只会在传输过程中不断减少，不会增加。（不确定性增大，因为有干扰存在）

2.6. 信息的储存

信息的保存实际上也是一种传递性变换，把不稳定的可辨状态变换成一种稳定的可辨状态。

“记忆”本身包含了“记”和“忆”两个部分，前者意味着 L_{AB} ，后者意味着 L_{BC} 。把我们现在的行为与过去的行为联成一气，使我们具有学习和积累经验的能力，也使我们具有高度控制，调节与适应的能力。

2.7. 信息加工和思维

信息加工的形式：

1. 逻辑推理

逻辑思维中最简单的推理形式是三段论。三段论包括三个简单判断，每个判断都含有一定的信息量。三段论的实质是把大前提和小前提的信息加工成结论的信息。这种加工方式通常可以用可能性空间来表示。包含关系的集合运算。

逻辑推理的重要内容是从一些已知判断求出新的判断。推理的过程是信息加工的一种方式，它告诉我们可能性空间怎样缩小是合理的。

逻辑思维主要研究概念、判断和推理。

人的思维空间分为形象空间和概念空间。

2.自由联想

3.创造性和自我意识

2.8. 信息和组织

所谓组织过程是事物之间联系的可能性空间从大变小的过程。 或者说是从混乱无序发展到有秩序的过程，是一个建立联系的过程。

控制、信息和组织都可以描述成可能性空间的缩小。 差别在于可能性空间的状态不同。 在组织中可能性空间的状态不是一般的可辨状态， 而是代表事物相互联系的方式。 因此，组织起来的过程实际上是事物间建立某种确定的联系， 排除了其他种联系的可能，从而也就排除了联系的混乱性和随机性。

组织过程与获得信息密不可分。 在控制论中，一个系统组织程度的度量和信息量是一致的。

我们必须把一个事物的整个控制、 反馈和信息传递过程综合起来考察。 不仅要考虑单向通道，而且要考虑相互影响及相互影响的综合效果。 这就是系统理论。 如果把控制和信息概念作为大厦的基本砖块， 那么系统理论就是研究这些砖块是怎样构成大厦的。