

第2讲 符号化、计算化与自动化

1、快速浏览---本讲视频都讲了什么？

【视频 2.1 符号化计算化示例-易经】

学习计算机，首先要学会“抽象”。而“易经”是最好的体现“抽象”的例子，...

复杂现象如何进行研究呢？那就是“**符号化-计算化**”，通过“**符号化**”可将各种现象或其相关要素表达出来，通过“**符号计算**”可以反映现象及其要素之间的关系。符号化是最基本的抽象手段，学习计算机首先要学好这种手段。

符号化不仅仅是数学符号化，表达成任何的符号(如 0 和 1，阴(两短划符号)和阳(一长划符号))都可以。符号组合以及符号组合之间的演变关系本质上讲也是一种计算。

“**抽象**”是每个人都可学会并可掌握的手段，就是“**理解-区分-命名-表达**”，区分与命名的过程即是“抽象”的过程。

从“现象”，到抽象空间中的“概念(或称术语)”的过程是“抽象”，而从抽象空间中的“概念(或称术语)”再到其他空间中的“现象”的过程是“应用”。从一个空间中抽象出的概念，可以被应用到其他空间中。此处的空间也可理解为领域，不同的空间即是不同的领域。这也是“**现象—本体—用体**”所要表达的。

易经的阴阳和计算学科的 0 和 1 有着天然的联系，基于阴阳组合的变化和基于 0 和 1 组合的变化也有着相似的规律，因此，理解“抽象(符号化)与计算”，理解“计算机”，可以从理解“易经是如何研究自然现象”开始... ..

【视频 2.2 符号化计算化示例-逻辑】

人类思维的基础是“逻辑”，计算机最根本的基础也是“逻辑”，二者也有着天然的联系，逻辑中的“真”与“假”和计算学科的 0 和 1 也是天然联系在一起的，因此“计算机”的思维可以被认为是基于逻辑的思维，其也是典型的符号化计算化示例。

计算机最基本的运算就是逻辑的“**与**”、“**或**”、“**非**”、“**异或**”运算，这些运算在所有的程序设计语言中都在使用(只是其表达方法略有不同)，计算机硬件的设计也是基于它们，那么“与”运算、“或”运算、“非”运算和“异或”运算是怎样进行的呢... ..

【视频 2.3 计算 0 和 1 化示例-数值性信息】

所有的信息都可被划分为数值性信息和非数值性信息。

数值性信息可通过二进制来表示，数值的符号“正号”“负号”也可以用 0 和 1 表示。

通过一定的处理—机器数与补码，不仅**数值的正负符号可参与运算**，而且可**将减法运算变为加法运算来执行**，而**加法运算又可以通过前述的逻辑运算来执行**，你相信吗...？

认识到这一点很重要，这说明所谓的能执行任何运算的“运算器”，其实只要做出基本逻辑

辑运算就可以了---所有的运算都可以通过逻辑运算及其组合来实现。

【视频 2.4 计算 0 和 1 化示例-非数值性信息】

视频 2.3 介绍了数值性信息的表示方法，本视频介绍非数值性信息的表示方法—**编码**。

ASCII 码是用 0 和 1 表达字母符号的编码，**汉字内码**、**外码**和**字型码**是用于表达汉字的编码。

可以用数字字母符号编码非数值性信息，也可以用 0、1 编码非数值性信息。易经的八卦、六十四卦就是一种编码，汉字、图像等也都可以通过编码的方式表达为 0 和 1。

所有信息表达成了 0 和 1，也就都能采用基于 0 和 1 的运算进行处理，也就都能被计算机所处理... ..

有些信息，可先用字母符号编码出来，然后再将这些字母符号按照 ASCII 码或汉字内码等编码成用 0、1 表达的信息，--这样就能被计算机所处理了。



【视频 2.5 自动化 0 和 1 示例-电子技术实现】

在电子技术中，0 和 1 可以用“低电平—0v 电压信号”和“高电平---5v 电压信号”来实现，也可以用开关的“断开”和“闭合”来实现，也可以用二极管的“截止”与“导通”来实现，...。

存储和控制 0 和 1 的元件就是二极管和三极管。通过二极管、三极管的组合可实现“与”“或”“非”等基本的逻辑运算，进一步将这种基本电路符号化为：

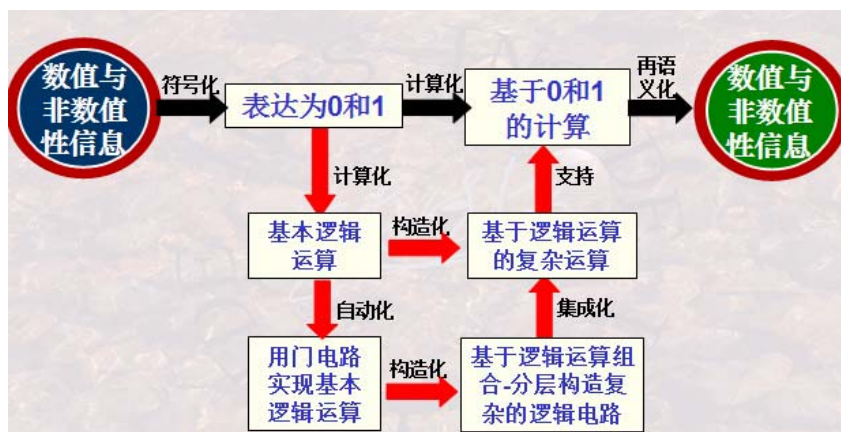


这是用接近形象化方法表达的基本逻辑运算，其本质还是 2.2 节的逻辑运算，只是以一种类似于电路连线的图示符号表达运算。则用这些符号就可表达硬件的构造—硬件元件之间的使用与连接关系。任何复杂的硬件，都可看成是实现了一种运算，而这种运算又可看成是高低电平信号(1 和 0)经过一系列的逻辑运算来完成的。

硬件，其实软件也一样，都是通过一层层的构造来实现的。先做好简单的硬件/软件-元件，基于这些硬件/软件元件，通过组合可以做出复杂一些的硬件/软件，将这个复杂硬件/软件“**封装**”起来作为新的硬件/软件元件，再构造更为复杂的硬件/软件。这就是所说的“**分层构造化**”和“**构造集成化**”。分层是由简单的东西构造复杂的东西，一层层构造，越来越复杂；集成是

将复杂的东西封装起来，内部细节被封装，仅留出需要与外界连接的部分，从而使复杂的东西从使用者角度看起来简单，进而可在此基础上构造更为复杂的东西。

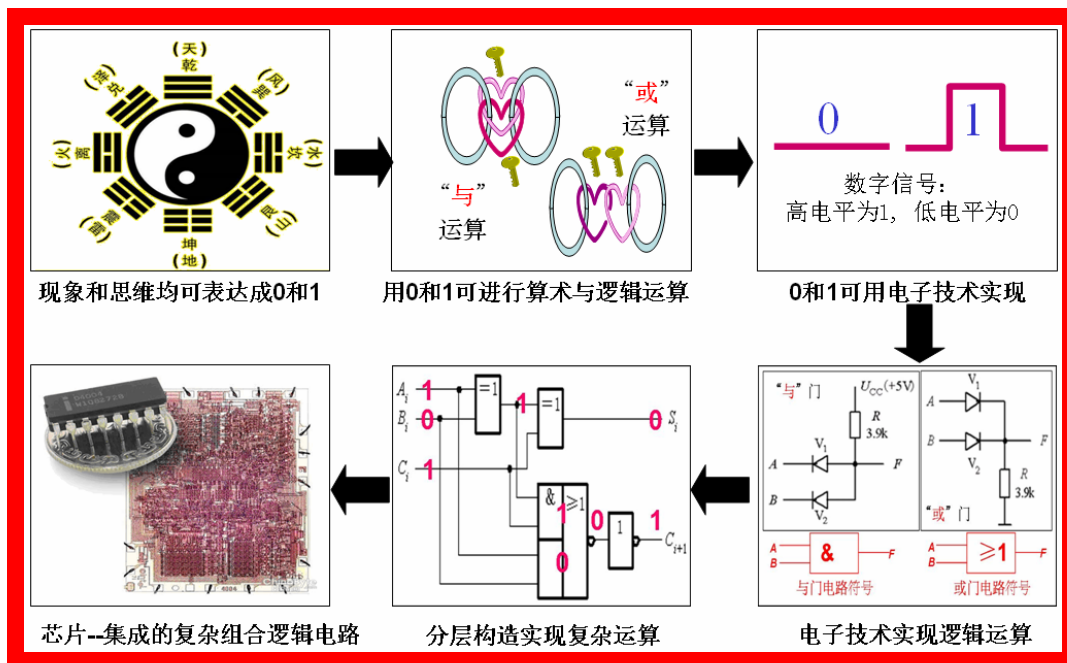
视频 2.5 以若干示例的形式展现了这种思维.....。



2、学习要点指南

2.1 要点一：深入理解“符号化-计算化-自动化”？

本讲内容概述起来就是让大家理解下面这张图及其所表达的“语义符号化→符号计算化→计算0(和)1化→0(和)1自动化→分层构造化→构造集成化”思维模式。



社会/自然与计算的融合本质上是社会/自然现象的面向计算的表达与推演，即将不同的社会/自然现象或问题表达为计算机可以处理的形式，即符号化、计算化和自动化。符号化也不仅仅是指数学符号，而是指最终可以转换为二进制位(Bit 比特)的各种符号，即任何社会/自然现象只要能表达为二进制位，则即可由计算机进行处理。现在的物联网技术，将各种物体、各种状态信息转换成二进制位实现各种计算便是一个例证，化学学科将一些量子化学特性及符号转换成二进制位实现关于各种化学创新研究的计算则是另一个例证。

本讲的目的是使大家理解语义符号化、符号计算化、计算 0(和)1 化、分层构造化和构造集成化，这是社会/自然与计算融合的基本思维模式，理解由 0 和 1 连接起来的由“计算”到“硬件实现计算”的跨越，理解任何复杂的计算都可以由机械/电子系统自动完成。通过这一过程的理解，进而对计算思维的本质“抽象”与“自动化”有一个初步的理解。

本讲内容是对第一讲“计算之树”中的“0 和 1”思维的深化讲授。即“0 和 1”思维反映的是“语义符号化、符号计算化、计算 0(和)1 化、分层构造化和构造集成化”。

2.2 要点二：表层意义→深层意义→集成意义的理解

以视频 2.1 中的“符号化计算化示例-易经”为例：

表层意义：易经是什么？易经是怎样表达自然现象的？易经是怎样通过卦及爻之间的变化反映自然现象乃至人事现象的变化规律的？

深层意义：符号化，符号的组合，利用符号及符号的组合来表达各种语义对象，利用符号组合之间的变化来表达各种运算。

集成意义：集成意义需放在要点一中的图中来审视的。若要计算机进行处理，第一步要符号化；研究自然/社会问题，第一步也是要符号化；只有符号化才能计算化，只有计算化才能自动化。

前述每一个视频都是构成“符号化、计算化和自动化”思维的一个有机组成部分，并非仅仅看完各自视频即结束，而是要将这几个视频连起来看“符号化、计算化和自动化”思维。

2.3 要点三：既要了解“易经”，又不要太受“易经”的影响？

“易经”是博大精深的一门学问，尽管有很多人对此还存有疑惑和质疑，但这是人文/社科人员等关注的问题，我们不必在此纠结。

本讲中，我们只是从计算学科的视角来看易经以及其带给我们在符号化计算化方面的启示，它将复杂的自然现象表达成符号，通过符号组合之间的变化规律来反映自然现象的变化规律，进而揭示人事现象或其他现象的变化规律，这对计算学科的人员是很有借鉴意义的！它的由“现象”到“本体”再到本体的应用“用体”这种思维模式是计算学科人员应该掌握的思维模式。它是最能体现抽象的一个示例。

补充说明：“易经”包含三个方面，“象”“数”“理”。“象”是指易经通过“卦”(一组阴阳的一种组合被称为一卦，而阴阳在组合中的一个位置被称为一爻(yao 二声))所反映出的现象，即符号组合的象征意义。“数”是指易经中卦的产生及变化方法，包含了易经对现象的量化表示及计算。“理”是指易经中卦及爻的变化所蕴含的哲理。应该说易经的“数”体现了计算的含义，但其真正的计算方法已失传，目前虽然出现各式各样的计算方法，究竟是否是易经真正的计算方法，已不得而知，但其至少说明了，一是符号化的易经是可被计算的，二是基于阴

阳/01 的计算方法是多样化的。易经的理，尤其体现了“现象—本体—用体”，更是值得我们借鉴的。易经本身的内涵及其人文学含义是很丰富的，但超出了本课程的范畴，不在本课程讨论范畴之内。有兴趣的读者，可通过阅读南怀瑾老先生的著作“易经系传别讲”“易经杂说”来学习。不仅可提升自己的理解能力，更能提升自己的抽象能力。

2.4 要点四：了解计算机是可由“电子技术”实现的，而不要纠结于实现细节？

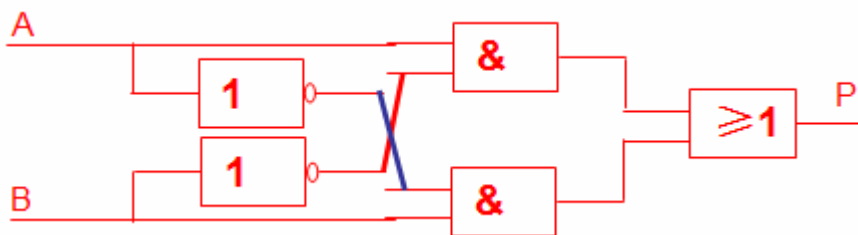
视频 2.5 讲解了计算机是可由“电子技术”实现的，学习时不要纠结于具体的实现细节。此部分我们理解这样一些内容即达目的：

- (1)逻辑上的“与”、“或”、“非”等运算是可由二极管三极管等电子元件来实现的；
- (2)硬件实现的“与”、“或”、“非”和“异或”运算等可被符号化为下列符号：



这种符号形象化示意了硬件元件之间的连接关系，左侧是输入线，右侧是输出线，输出与输入之间满足相应的逻辑运算关系。

(3)复杂的硬件可通过简单硬件的组合运算来实现。而这可通过“符号化”来表达，即将(2)中的符号进行组合和连接来实现，这里就要注意区分“输入”和“输出”，一般而言元件左侧的为输入，元件右侧的为输出。一个元件的输出线被接到了另一个元件的输入线上。所以类似于下图的符号组合，本质上就是逻辑基本运算的组合。



上图用视频 2.2 的方法表达就是：

$$P = (A \text{ and } (\text{not } B)) \text{ or } (B \text{ and } (\text{not } A))$$

所以本质上讲，**硬件的组合实现** 即是 **逻辑基本运算的组合**。这是从思维的角度来理解计算机硬件实现方法。这种符号化表达的硬件的组合，也是符号化计算化的一个示例。

3、常见问题

3.1 讲大学计算机，讲计算思维导论，为什么却先讲了易经？易经和计算思维有什么关系？

在课程中，我们是以“易经”作为一个例子来看计算思维的。我们认为，易经是最典型的符号化计算化思维的例子，尽管当时并未提出计算思维。

我们认为，计算思维的学习首先应理解抽象，学会怎样抽象。

易经是最早应用 0 和 1(即阴和阳)及其组合来研究自然规律的,它展现了组合构造的多样性和变化的复杂性,可以表达复杂的语义;易经的简单学习,启示我们,怎样进行抽象,就是理解→区分→命名→表达。易经可以体现从“现象”抽象出“概念”,再应用“概念”到不同的应用空间,即**现象→概念,本体→用体。区分与命名**,即“**抽象**”,是计算学科基本的研究方法。

另外,我们一提符号化,大家可能就想到数学公式化,认为数学公式化就是唯一的符号化,当然能表达成数学符号最好。但易经给我们展现的是,任何现象都可表达为符号,并不一定是数学符号,通过符号的组合来展现运算,这很有启示。我们知道,现在任何事物都可以通过感知的形式被表达成基于 0 和 1 的数据,那是否也能被计算呢,答案是不言而喻的,是能够被计算的---基于 0 和 1 的逻辑运算。

3.2 为什么要将算术运算和逻辑运算统一了呀?有什么意义呢?

计算学科研究的终极目的是构造出机器来自动地进行计算,即设计出能够进行各种运算的机器。那怎么设计呢?怎么实现乘除法运算的机器呢,好像没有想法,是吧?为什么没有想法呢?问题太复杂,不好做!

但如果我们这样来想,加减乘除都可以转换成加法运算,而加法运算又可以由逻辑运算来实现,只要我们制造出了能够完成逻辑运算的机器,加减乘除是否也能做出来呢?是可以做出来的,因为加减乘除可以通过将逻辑运算进行不同的组合来实现,这样问题是否解决了呢?

这也就是说,复杂的东西不能直接做出来,可以先做能够做出来的,可以先做简单的东西,然后通过对可以做出来的简单的东西的组合来实现复杂的东西。这种思维很重要,数学中很多的等价性问题是否也是这样的思想呢,大家想一想,我们在学数学的时候可能没有注意到,那是因为我们的关注点在数学结论和证明上了,如果按照这种思维来学数学,数学是否也很有意思了呢。我们后面的课程,比如第 3 讲的计算系统与程序构造、第 4 讲的冯·诺依曼计算机等还会继续给大家深入讲解这方面的思维,请大家关注。

3.3 分层构造和构造集成仅是针对硬件电路设计吗?这种思想除硬件设计外,还有其他应用吗?

分层构造和构造集成这种思想不仅仅是针对硬件电路设计,是有很多其他应用的。可以说,计算学科充满了“分层”和“集成/封装”的思想的。

比如,我们后面将要学习的程序构造:将一段语句封装成一个函数,再利用函数构造新的程序;

再比如将来可能学习软件工程:面向对象中的对象,软件开发中的构件,计算机网络中的协议/编解码器等等,本质上都体现着“分层”和“集成/封装”的含义的,只是换用了不同的术语而已。

所以学好分层构造化和构造集成化,看起来是针对硬件在学习,实际上,对程序设计、对软件开发都是有着重要影响的,所以要很好地学习,很好地理解。