

## 5、图灵机

1. 图灵机的组成结构
2. 可计算理论
3. 图灵机的意义
4. 图灵机的实现
5. 图灵平台与软件

# 5、图灵机

前面我们讲过，巴贝奇设计的分析机，其五个组成部分与后来的冯诺依曼构架所要求的五大部件一模一样。可惜的是，巴贝奇早生了一百年，他那时的硬件制造技术远远不能支持分析机的实现，并且计算机科学的理论基础还完全不具备。

自分析机之后，经过近百年的发展，二进制、布尔代数、继电路等数学工具和硬件技术相继出现。然后香农将这三者结合在一起，发展出了数字逻辑电路。到此，二进制电子计算机的硬件制造基础就有了，距离冯诺依曼构架的现代电子计算机的问世，只差一个坚实的理论基础——图灵机。

1936年，24岁的图灵发表一篇题为《论数字计算在决断难题中的应用》的论文，论文中提出一种计算装置，后被称为“**图灵机**”。图灵机不是具体的计算机，而是一种计算概念、计算理论。

## 1. 图灵机的组成结构

网上有一张经典的图片来表达图灵机的构成：

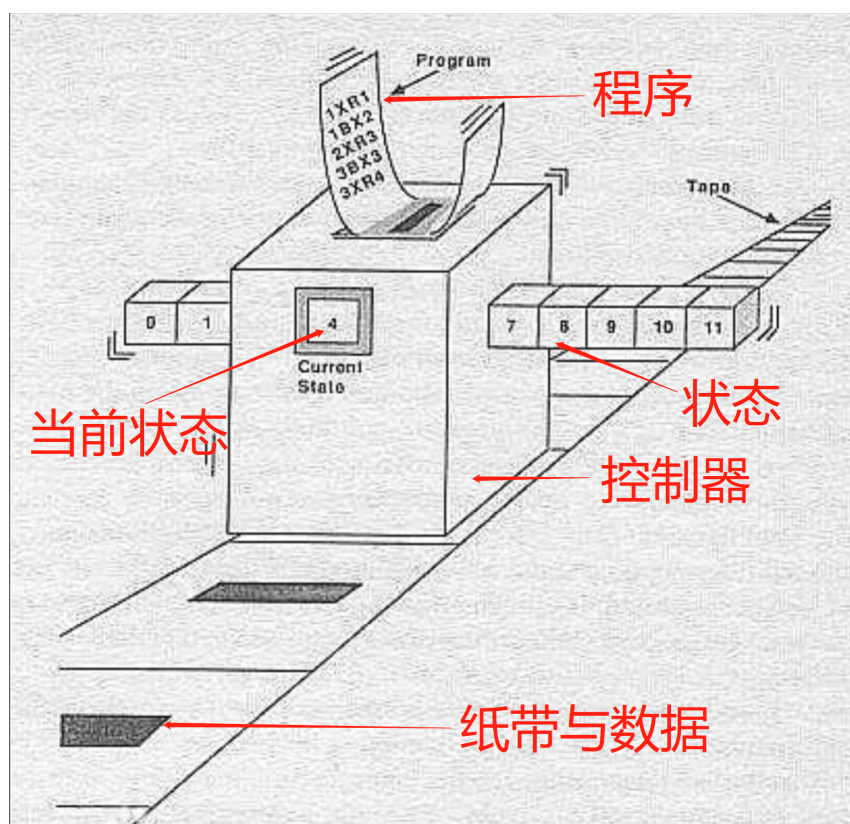


图1、图灵机的构成

图灵机的基本思想是用机器来模拟人们用纸笔进行数学运算的过程，它将运算过程看作下列两种简单的动作：

- 在纸上写上或擦除某个符号；

- 把注意力从纸的一个位置移动到另一个位置；

逻辑结构上图灵机有四个部分组成：

1. 一个无限长的存储纸带，带子有一个个连续的存储格子组成，每个格子可以存储一个数字或符号；
2. 一个读写头，读写头可以在存储带上左右移动，并可以读、修改存储格上的数字或符号；
3. 内部状态存储器，该存储器可以记录图灵机的当前状态，并且有一种特殊状态为**停机状态**；
4. 控制程序指令，指令可以根据当前状态以及当前读写头所指的格子上的符号来确定读写头下一步的动作（左移还是右移），并改变状态存储器的值，令机器进入一个新的状态或保持状态不变。

更抽象一点，图灵机模型包含四个部分：**输入集合、输出集合、内部状态、固定的程序指令**。

## 2. 可计算理论

图灵为什么要提出图灵机模型？图灵并不是向巴贝奇设计分析机那样，目的就是要设计出一个计算机，他其实是在研究可计算理论与停机问题时，“顺手”提出了图灵机模型。

计算机的发明，初衷是为了高效完成复杂的计算。复杂计算人工也可以完成，但是效率不高。让机器完成复杂计算，首先遇到的就是**可行性问题**，在此就是**可计算问题**：

**是否存在一个算法，能够在任意输入的情况下解决这个问题。**

这个问题很重要，如果不从理论上解决这个问题，就去盲目地设计建造计算机，辛辛苦苦地去解题，最后却发现问题无解，一切努力都是浪费时间和精力。所以图灵在思考三个基本问题：

1. 世界上是否所有的数学问题都有明确的答案？
2. 如果有明确的答案，是否可以通过有限步骤的计算得到答案？
3. 对于那些有可能在有限步骤计算出来的学习问题，是否有一种假想的机械，让它不断运行，最后机器停下来时，那个数学答案就计算出来了？

感叹！图灵这样的天才考虑问题是如此地本质性！

关于问题1，在20世纪以前，人们盲目相信所有的问题都是有算法的，人们的计算研究就是找出算法来。直到1970年，一位苏联数学家严格证明了：对于很多数学问题是没有解的！甚至没有解的问题比有解的问题还要多。

关于问题2，对于存在答案的数学问题，只有部分是可以在有限步骤内完成。有限步骤完成不了的问题，超出了计算机的能力范围。这样把计算机的能力边界确定下来了。

关于问题3，确定了计算边界后，针对可计算的问题，图灵设计出一种通用、有效、等价的机器——图灵机，并且严格地证明了，只要能够实现图灵机模型的全部功能，就可以解决任何**可计算问题**。注意：图灵机只能解决可计算问题，而不是所有问题，比如**停机问题**。

所以说是图灵在研究可计算问题过程中，“顺便”提出了图灵机模型。

## 3. 图灵机的意义

图灵机模型的意义有以下几点：

1. 它提出了通用计算理论，严格证明了计算机实现的可能性，同时给出了计算机应有的主要构架；
2. 图灵机模型引入了计算机读写、算法与程序语言的概念，极大地突破了过去计算机器的设计理念；
3. 图灵机模型是计算机科学最核心理论，因为计算机的极限计算能力就是通用图灵机的计算能力，很多问题可以转化为图灵机这个简单模型来考虑。

图灵机严格来讲是一种数学模型、计算理论模型。从图灵机提出到现在已经过去了80多年，今天所有的计算机，包括主流的冯诺依曼构架的计算机，甚至非冯诺依曼构架的量子计算机，都没有超出图灵机的理论范畴。图灵的工作如此重要，所以图灵被尊为“计算机科学之父”！

## 4. 图灵机的实现

---

巴贝奇的分析机只是一个概念设计，图灵机只是一个理论模型，都不是真正实现的计算机。但相较于巴贝奇，图灵是幸运的，他的理论在接下来的十几年时间里便得到了验证，并逐渐发展成为我们今天的计算机。

## 5. 图灵平台与软件

---

对于本课的主题“平台与软件”，图灵机第一次从理论上将硬件平台与软件进行了二分，并指出：程序与其输入数据一样，可以先保存到存储带上，图灵机就按程序一步一步运行直到给出结果。