

第5讲 图灵机和冯诺依曼机

李玉华

华中科技大学计算机学院智能与分布计算实验室

idcliyuhua@hust.edu.cn,
<http://idc.hust.edu.cn/~yhli/>

第5讲 图灵机和冯诺依曼计算机

2

- 图灵机
- 冯.诺依曼计算机

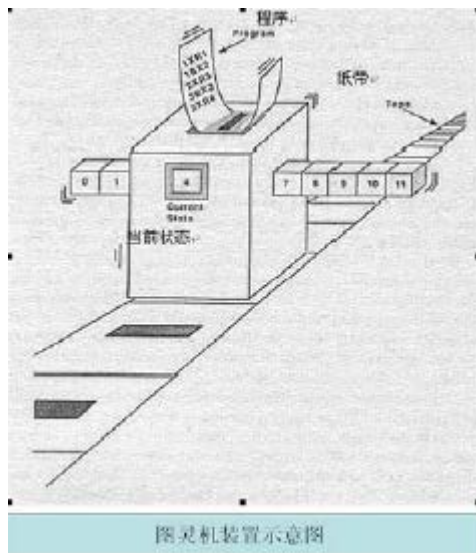
图灵是谁？

3

图灵及其贡献

- ◆ **图灵** (Alan Turing, 1912~1954), 出生于英国伦敦, 19 岁入剑桥皇家学院, 22 岁当选为皇家学会会员。
- ◆ 1937 年, 发表了论文《论可计算数及其在判定问题中的应用》, 提出了 **图灵机模型**, 后来, 冯·诺依曼根据这个模型设计出历史上第一台电子计算机。
- ◆ 1950 年, 发表了划时代的文章: 《机器能思考吗?》, 成为了人工智能的开山之作。
- ◆ 计算机界于 1966 年设立了最高荣誉奖: **ACM 图灵奖**。

你能查阅一下哪些人获得图灵奖了吗？
因为什么贡献而获奖呢？

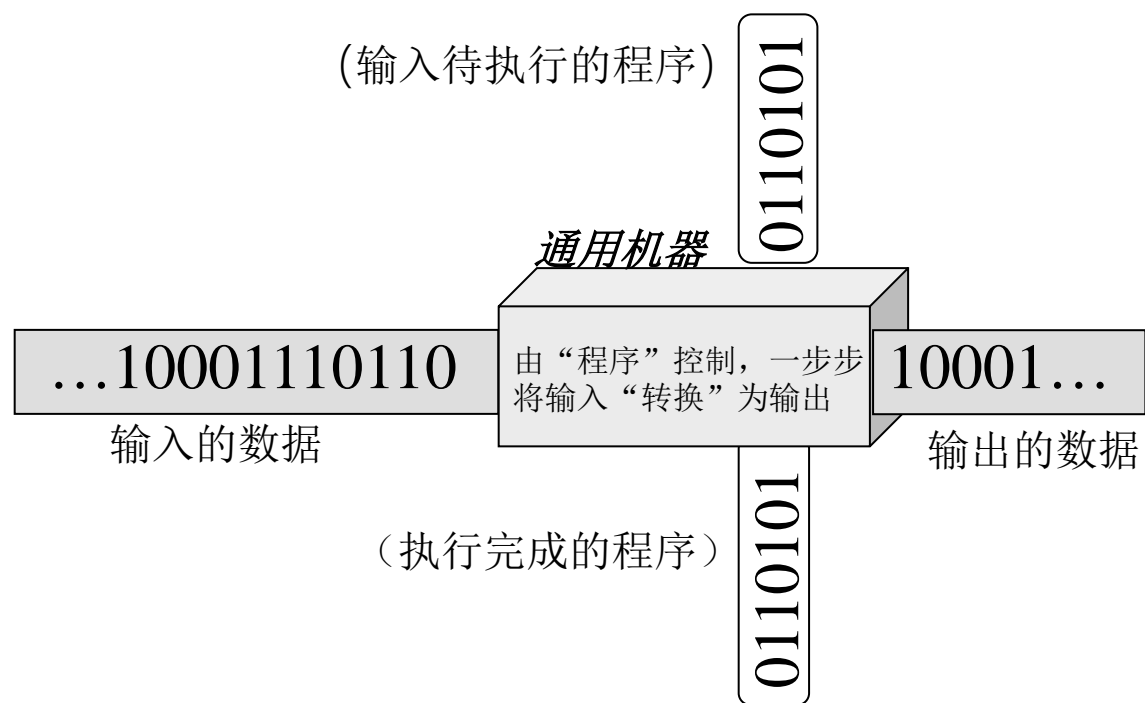


图灵认为什么是计算？

4

什么是计算

◆所谓**计算**就是计算者(人或机器)对一条两端可无限延长的纸带上的一串0或1，执行指令一步一步地改变纸带上的0或1，经过有限步骤最后得到一个满足预先规定的符号串的**变换过程**。



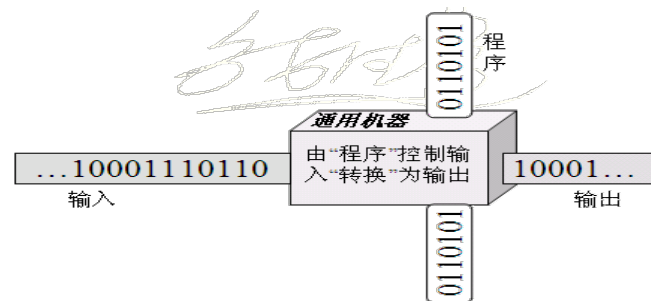
图灵认为什么是计算？

5

图灵机的思想

是关于数据、指令、程序及程序/指令自动执行的基本思想。

- ◆ 输入被制成一串0和1的纸带，送入机器中----**数据**。如00010000100011...
- ◆ 机器可对输入纸带执行的**基本动作**包括：“翻转0为1”，或“翻转1为0”，“前移一位”，“停止”。
- ◆ 对基本动作的控制----**指令**，机器是按照指令的控制选择执行哪一个动作，指令也可以用0和1来表示：**01**表示“翻转0为1”（当输入为1时不变），**10**表示“翻转1为0”（当输入0时不变），**11**表示“前移一位”，**00**表示“停止”。
- ◆ 输入如何变为输出的控制可以用指令编写一个**程序**来完成，如：011110110111011100...
- ◆ 机器能够读取程序，按程序中的指令顺序读取指令，读一条指令**执行**一条指令。由此实现**自动计算**。



图灵机是什么？

6

图灵机模型

◆基本的图灵机模型为一个七元组,如右图

◆几点结论:

- (1) 图灵机是一种思想模型，它由一个控制器(有限状态转换器)，一条可无限延伸的带子和一个在带子上左右移动的读写头构成。
- (2) 程序是五元组 $\langle q, X, Y, R(\text{或}L\text{或}N), p \rangle$ 形式的指令集。其定义了机器在一个特定状态 q 下从方格中读入一个特定字符 X 时所采取的动作作为在该方格中写入符号 Y , 然后向右移一格 R (或向左移一格 L 或不移动 N), 同时将机器状态设为 p 供下一条指令使用。

$$M = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, B, F)$$

其中:

Q : 状态的有穷集合

q_0 : 开始状态

F : 终止状态集合

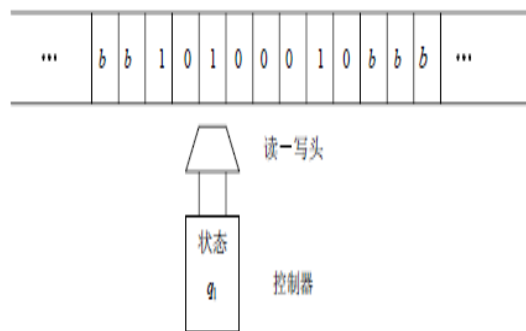
Γ : 带符号表

B : 空白符号

Σ : 输入字母表

δ : 移动函数, (1) $\delta(q, X) = (p, Y, R)$ 表示 M 在状态 q 读入符号 X , 将状态改为 p , 并在这个 X 所在的带方格中印刷符号 Y , 然后将读头向右移动一格.

(2) $\delta(q, X) = (p, Y, L)$ 表示 M 在状态 q 读入符号 X , 将状态改为 p , 并在这个 X 所在的带方格中印刷符号 Y , 然后将读头向左移动一格.



举例：圆珠笔自动状态机

7

□ 圆珠笔状态切换



S_i	I	O	S_j
1	1	0	0
0	1	1	1

理解图灵机模型

图灵机【示例1】

一个具体的图灵机示例

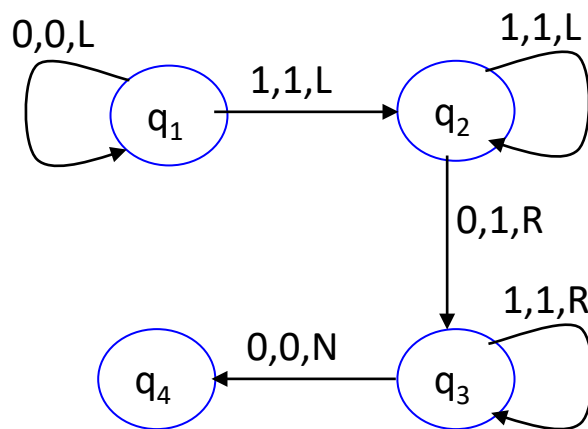
$$M = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, S, B, F)$$

$(q_1, 0, 0, L, q_1)$
 $(q_1, 1, 1, L, q_2)$
 $(q_2, 1, 1, L, q_2)$
 $(q_2, 0, 1, R, q_3)$
 $(q_3, 1, 1, R, q_3)$
 $(q_3, 0, 0, N, q_4)$

指令集 (移动函数)

与通常【程序】
(一条接一条执行的指令
集合) 的差异

依据【当前状态】和【输入】
决定执行哪条指令



状态图 (或状态输入转换图)

(注: (q, X, Y, L, p) , 状态图中圆圈内的
是状态, 箭线上的是 $\langle X, Y, L \rangle$, 表示读
出 X 时则写入 Y 并向左移动。 L 位置也可
以是 R (向右移动) 或 N (不动))。

$Q = \{q_1, q_2, q_3, q_4\}$

其中

q_1 : 开始状态

q_2 : 右移状态

q_3 : 左移状态

q_4 : 停机状态

$\Sigma = \{0, 1\}$

Γ 带字符集 = $\{0, 1, b\}$

$S = \{q_1\}$

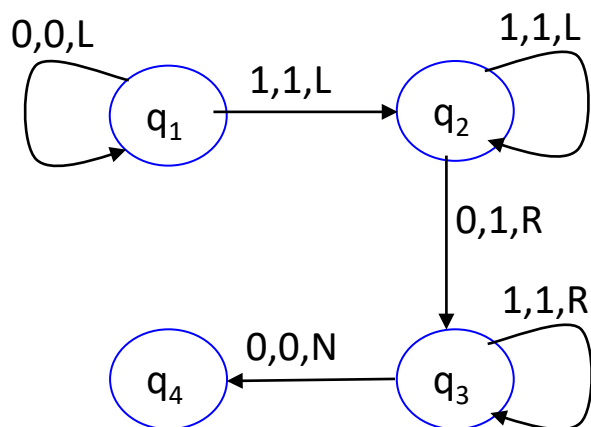
$F = \{q_4\}$

B/b 空白字符

δ -- 移动函数/指令集

理解图灵机模型

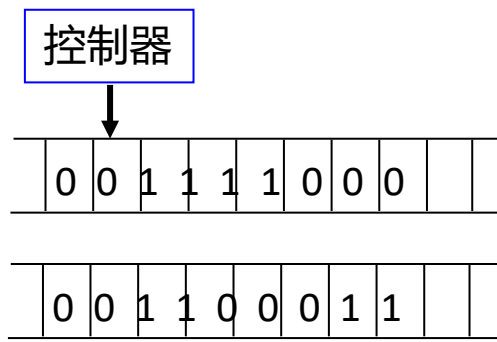
图灵机计算过程【示例1】



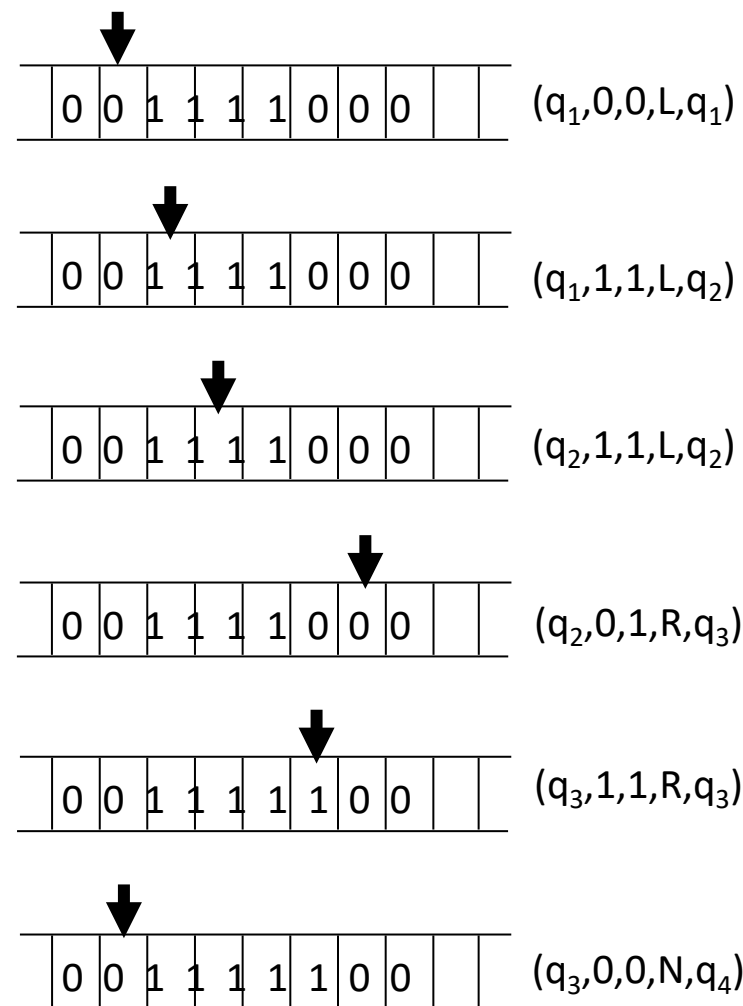
纸带向左移,
读写头向右移

功能：将一串连续1的后面再加一位1

你能否用另一个输入模拟一下这个程序的执行呢？



该图灵机能
处理完给定的
输入吗？
后面再讨论

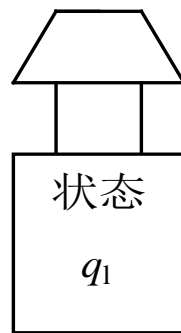
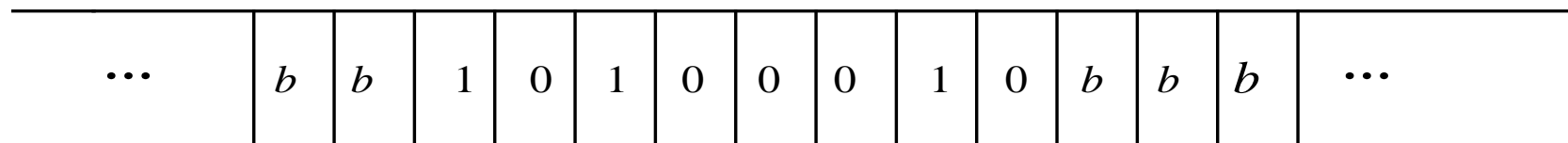


练习

10

- b 表示空格, q_1 表示机器的初始状态, q_4 表示机器的结束状态, 设带子上的输入信息是10100010, 读入头位对准最右边第一个为0的方格, 状态为初始状态 q_1 。规则如下。

- $q_1 0 1 L q_2$ $q_1 1 0 L q_3$ $q_1 b b N q_4$
- $q_2 0 0 L q_2$ $q_2 1 1 L q_2$ $q_2 b b N q_4$
- $q_3 0 1 L q_2$ $q_3 1 0 L q_3$ $q_3 b b N q_4$



练习答案

(1) $q_1 0 1 L q_2$

(2) $q_1 1 0 L q_3$

(3) $q_1 b b N q_4$

(4) $q_2 0 0 L q_2$

(5) $q_2 1 1 L q_2$

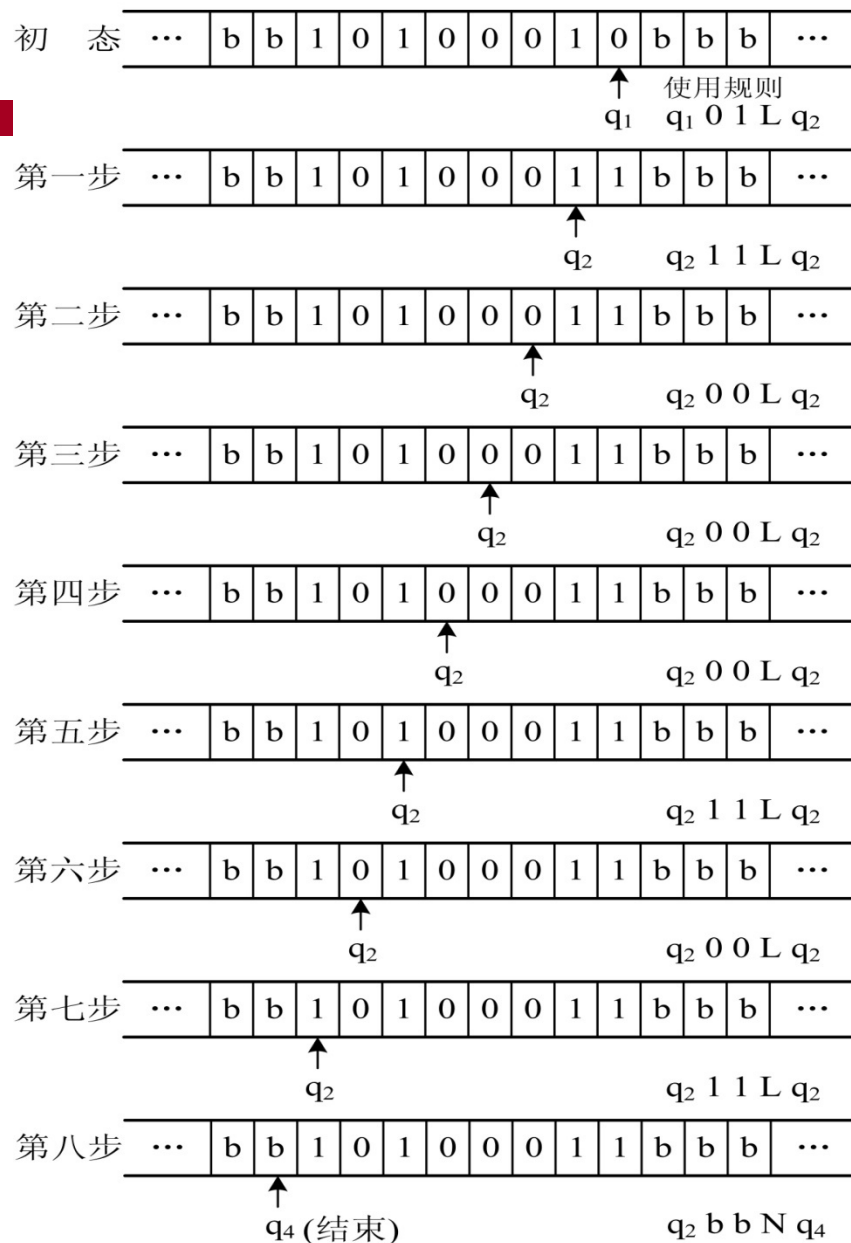
(6) $q_2 b b N q_4$

(7) $q_3 0 1 L q_2$

(8) $q_3 1 0 L q_3$

(9) $q_3 b b N q_4$

计算过程



图灵机是什么？

12

几点结论(续):

◆(3)图灵机模型被认为是计算机的基本理论模型

----计算机是使用相应的程序来完成任何设定好的任务。图灵机是一种离散的、有穷的、构造性的问题求解思路，一个问题的求解可以通过构造其图灵机(即程序)来解决。

◆(4)图灵认为：凡是能用算法方法解决的问题也一定能用图灵机解决；凡是图灵机解决不了的问题任何算法也解决不了----图灵可计算性问题。

作业

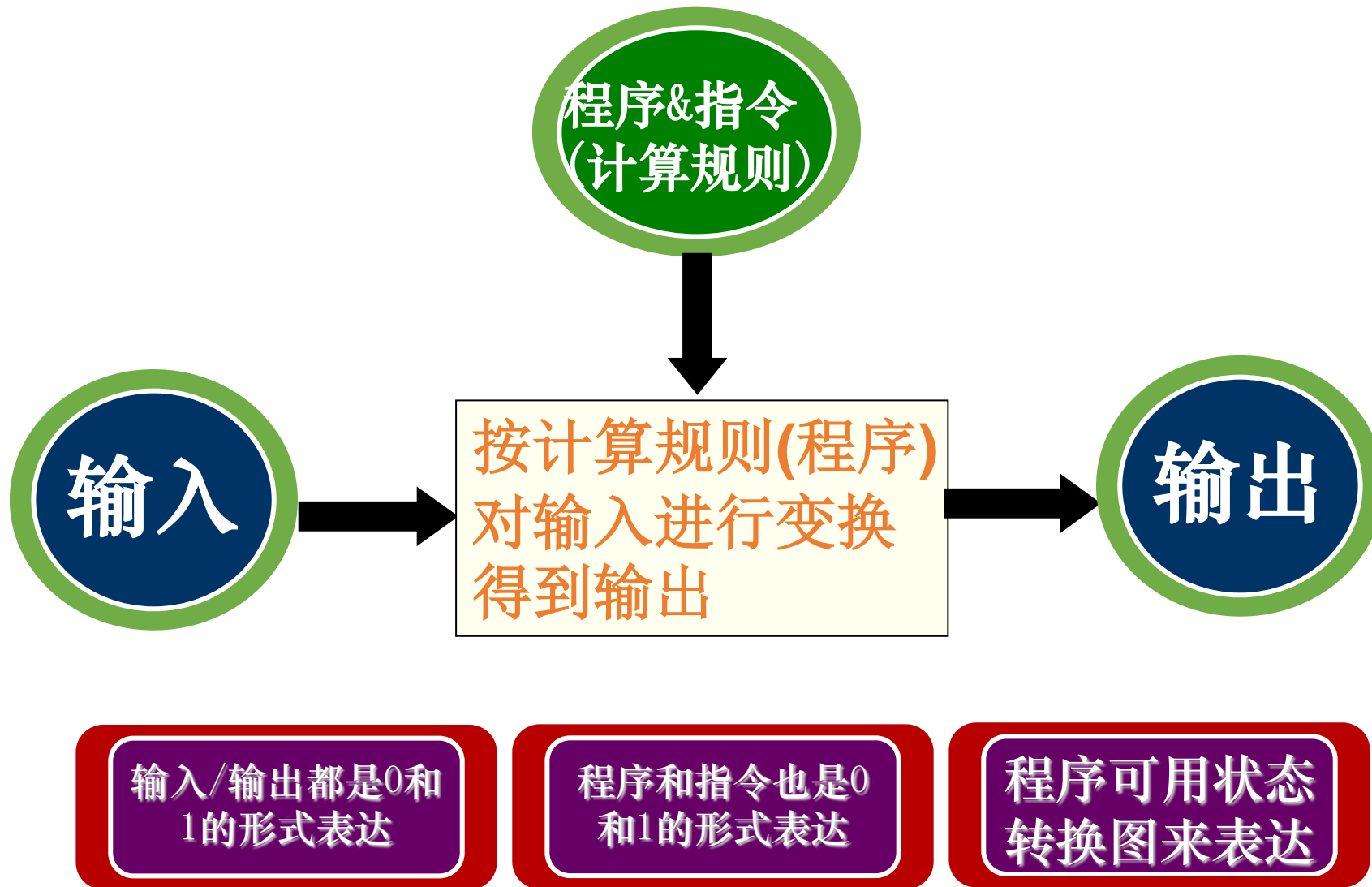
13

- b 表示空格, q_1 表示机器的初始状态, q_4 表示机器的结束状态, 设带子上的输入信息是bb10110101bb, 读入头位对准最右边第一个为1的方格, 状态为初始状态 q_1 。规则如下。请给出图灵机求解过程。

– $q_1 0 1 L q_2$	$q_1 1 0 L q_3$	$q_1 b b N q_4$
– $q_2 0 0 L q_2$	$q_2 1 1 L q_2$	$q_2 b b N q_4$
– $q_3 0 1 L q_2$	$q_3 1 0 L q_3$	$q_3 b b N q_4$

图灵机的思想与模型小结

14



第5讲 图灵机和冯诺依曼计算机

15

- 图灵机
- 冯.诺依曼计算机

什么是冯·诺依曼计算机？设计思想

冯·诺依曼(Von.Neumann)计算机

◆1944~1945年间，冯·诺伊曼提出

“存储程序”的计算机设计思想，
并进行了实践，现代计算机普遍来
讲属于冯·诺伊曼机体系。

◆冯·诺伊曼机的基本思想：

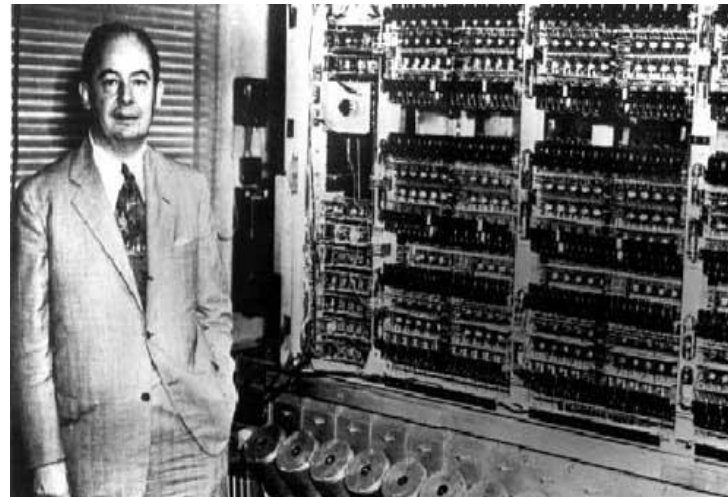
- 运算和存储分离

- 存储程序：指令和数据以同等地位事先存于存储器，可按地址寻访，连续自动执行。

- 五大部件构成：运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备

- 指令和数据用二进制表示，指令由操作码和地址码组成

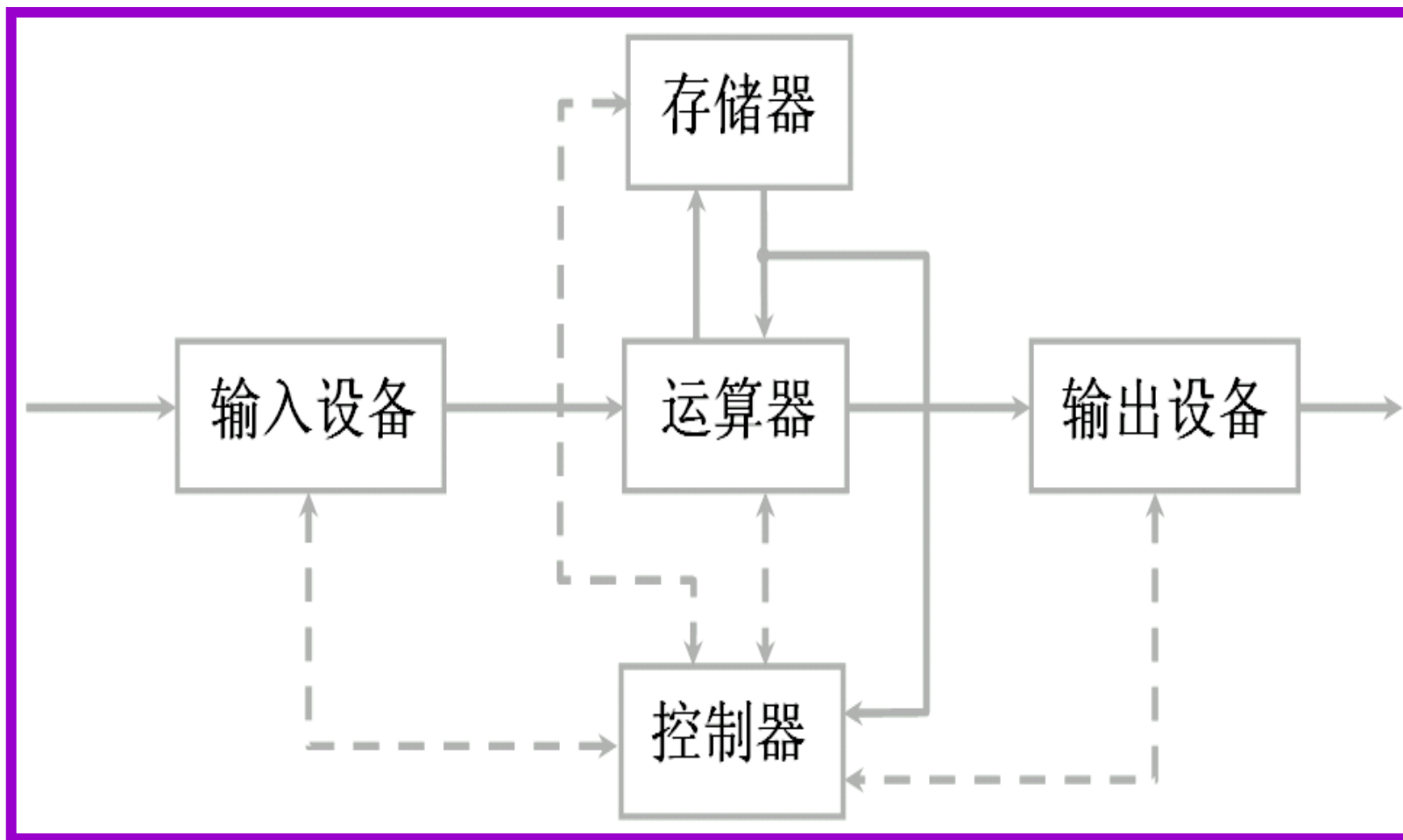
- 以运算器为中心，控制器负责解释指令，运算器负责执行指令



冯·诺依曼计算机的结构是怎样的？部件有哪些？部件的关系怎样？

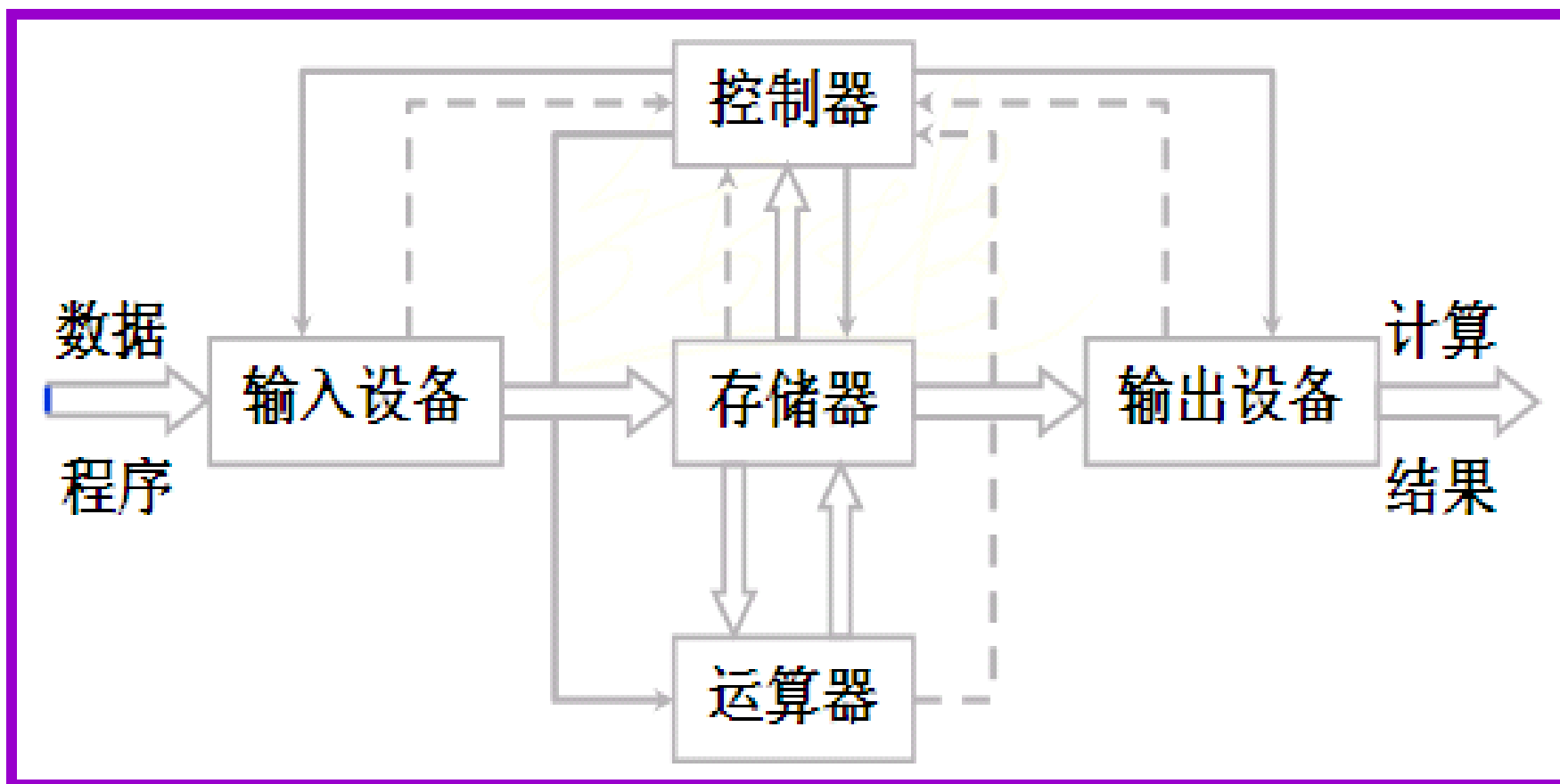
17

以运算器为中心的冯·诺依曼计算机构成图



存储器为中心与运算器为中心的优缺点在哪里？

以存储器为中心的现代计算机构成图



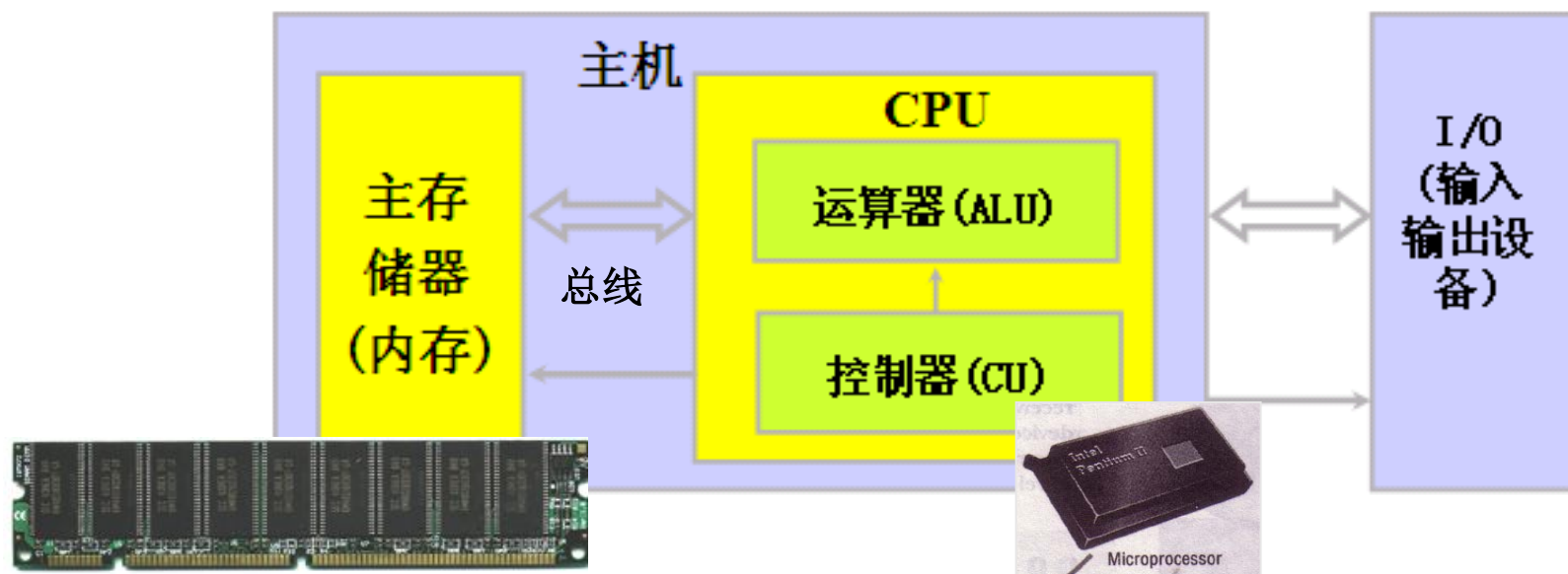
同样是五个部件，以不同的结构来连接，便体现了不同的性能----这就是“系统”：强调“结构”，强调部件连接后的整体性、协同性

什么是CPU？现代计算机的几大部件是什么？

计算机的基本部件

◆**CPU**：中央处理单元(Central Process Unit)，将运算器和控制器集成在一块芯片上，形成微处理器。

◆**CPU、主存储器、I/O设备及总线**成为现代计算机的四大核心部件。



现代计算机里面，一个微处理器(芯片)可能包含多个**CPU**，即多核。

冯·诺依曼计算机: 思想与构成小结

