

作业 3 参考答案

邵艾然 <sar13@mails.tsinghua.edu.cn>

2016-06-12

作业中提到的“教材”均指：《计算机系统结构教程》，张晨曦等编著，清华大学出版社。

第 1 题（教材-习题-2.11）

某台处理机的各条指令使用频度如下表所示。

指令	使用频度
ADD	43%
SUB	13%
JMP	7%
JOM	6%
STO	5%
SHR	1%
CIL	2%
CLA	22%
STP	1%

请分别设计这 9 条指令操作码的赫夫曼编码、3/3/3 扩展编码和 2/7 扩展编码，并计算这三种编码的平均码长。

参考解答

指令	赫夫曼编码	3/3/3 扩展编码	2/7 扩展编码
ADD	1	00	00
CLA	01	01	01
SUB	001	10	1000
JMP	00011	1100	1001
JOM	00010	1101	1010
STO	00001	1110	1011
CIL	000001	111100	1100
SHR	0000000	111101	1101
STP	0000001	111110	1110

赫夫曼编码的平均码长为

$$1 \times 43\% + 2 \times 22\% + 3 \times 13\% + 5 \times (7\% + 6\% + 5\%) + 6 \times 2\% + 7 \times (1\% + 1\%) = 2.42$$

3/3/3 扩展编码的平均码长为

$$2 \times (43\% + 22\% + 13\%) + 4 \times (7\% + 6\% + 5\%) + 6 \times (2\% + 1\% + 1\%) = 2.52$$

2/7 扩展编码的平均码长为

$$2 \times (43\% + 22\%) + 4 \times (13\% + 7\% + 6\% + 5\% + 2\% + 1\% + 1\%) = 2.7$$

常见问题

- 1) 由于构造赫夫曼树时可能出现频度相同的节点，赫夫曼编码的结果可能不止一种。这几种不同的结果都可以认为是正确的，它们的平均码长略有不同，但都是 3 种编码里最小的。
- 2) 3/3/3 扩展编码在每个两位的 4 个码点中，用 3 个表示指令，剩余的 1 个用于继续扩展。有些同学没有充分利用可以表示指令的码点。
- 3) 2/7 扩展编码把开头为 0 的操作码扩展出 1 位，可表示两个码点；把开头为 1 的操作码扩展出 3 位，可表示 7 个码点，剩下一个码点用于继续扩展。因此，2/7 扩展编码中，最短的编码也需要两位，1 位是不

够的。而在较长的编码中，扩展部分 3 位就够了，有些同学用了 4 位，这是没有必要的。

- 4) 虽然没有明确的要求，但一般在扩展编码中，用从 0 开始逐渐增大的码点表示指令，把编码值最大的码点用于扩展，这样思路比较清楚。关键是希望同学们理解扩展编码的基本思想，清楚地区分用于表示指令和用于扩展的码点。

第 2 题（教材-习题-2.12）

某机器的指令字长为 16 位，设有单地址指令和双地址指令两类指令。若每个地址字段均为 6 位，且双地址指令有 A 条，问单地址指令最多可以有多少条？

参考解答

双地址指令操作码有 4 位，因此最多可以编出 2^4 条指令。单地址指令操作码有 10 位，在头 4 位没有与双地址指令操作码重复的情况下，可以与剩下的 6 位一起编成新的单地址指令操作码。因此，单地址指令最多可以有

$$(2^4 - A) \times 2^6 = (16 - A) \times 64$$

常见问题

- 1) 有些同学认为，被双地址指令操作码占用了的比特就不能再给单地址指令操作码使用了。但本题关心的其实不是“比特”的划分问题，而是“码点”的划分问题。
- 2) 不知是不是对地址字段的理解有问题，有些同学认为双地址指令操作码长度有 6 位。但因为每个地址字段都要占 6 位，因此双地址指令操作码的长度应该只有 4 位。

第 3 题（教材-习题-2.13）

某处理机的指令系统要求有：三地址指令 4 条，单地址指令 255 条，零地址指令 16 条。设指令字长为 12 位，每个地址码长度为 3 位。问能否用

扩展编码为其操作码编码？如果要求单地址指令为 254 条，能否对其操作码扩展编码？说明理由。

参考解答

三地址指令操作码有 3 位，可提供 8 个码点。其中 4 个用于编码三地址指令，剩余的 4 个用于扩展。单地址指令操作码有 9 位，在头 3 位没有与三地址指令操作码重复的情况下，可以与剩下的 6 位一起编成新的操作码。这样，可提供 $4 \times 2^6 = 256$ 个码点。其中的 255 个用于编码单地址指令，剩下 1 个用于扩展。零地址指令的操作码比单地址指令又多出 3 位，因此可提供 $1 \times 2^3 = 8$ 个码点。但零地址指令有 16 条，码点数量不够，因此无法实现扩展编码。

如果单地址指令变为 254 条，则可剩下 2 个码点用于扩展。此时零地址指令就可扩展出 $2 \times 2^3 = 16$ 个码点，恰好编完 16 条零地址指令。因此可以实现扩展编码。