

三值光计算机的对称三进制半加器原理设计

蔡超, 金翊, 包九龙, 汪宇涛

(上海大学计算机工程与科学学院, 上海 200072)

摘要: 提出了在三值光计算机中采用对称三进制半加器的观点, 设计了支持这个观点的半加器结构原理图。与传统二进制电子计算机加法器相比, 该设计体现了对称三进制表示将加法运算和减法运算合而为一的优点, 避免了补码运算。论述了对称三进制加法运算的规律, 介绍了所设计半加器的工作原理, 为三值光计算机逻辑运算器以及后续研究提供了理论指导意义。

关键词: 光计算机; 半加器; 三值计算机; 对称三进制

Design of Balanced Ternary Half-adder in Ternary Optical Computer

CAI Chao, Jin Yi, BAO Jiu-long, WANG Yu-tao

(School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200072)

【Abstract】 This paper brings forward a new viewpoint of using balanced ternary half-adder in the ternary optical computer. A half-adder principle plan is designed based on this viewpoint. Compared with adder of tradition binary electric computer, the strongpoint of this design is that subtraction can be done without complementing code. The add-rule of balanced ternary is discussed and the work methods of balanced ternary half-adder are also provided, which are the theory guidance of Boolean calculator and extended research of ternary optical computer.

【Key words】 optical computer; half-adder; ternary computer; balanced ternary

加法器在三值光计算机中具有重要地位, 它是各种算术运算器的基本单元。它的实现将推动三值光计算机研究从硬件研发进入到数值计算应用领域。目前加法器的理论研究取得了很大进展, 已经设计出了加法器光路图^[1]。然而在加法运算时将产生进位延时问题, 传统的电子计算机中普遍采用“分组并行进位链”设计, 即用先行进位或超前进位设计来解决^[2-4]。这种设计中是用增加硬件复杂度来提高运算速度, 随着计算机位数增加, 其电路的复杂性必将大大增加。目前电子计算机最高位数不足百位, 虽然这种设计是可行的, 但是光计算机拥有巨大的位数, 继续采用这种设计会使光计算机加法器的结构过于复杂, 以致无法实现^[5], 为此文献[6]提出了进位直达并行加法器原理。

在加法器设计中不仅存在进位延时问题, 还有采用何种方式表示数值的问题。经研究发现, 如果在加法器的设计上采用对称三进制(balanced ternary)表示, 会给加法器的应用带来二值计算机所没有的好处。

1 对称三进制的数学特点

人们已经习惯在电子计算机中使用二进制(0, 1)表示数值, 很自然地在三值计算机中会使用基数为 0, 1, 2 的三进制表示数值, 暂且称这种表示为非对称三进制。三进制有多种表示方法, 对称三进制就是另一种表示, 对称三进制采用基数{-1, 0, 1}, 为与一般的负号区别, 并便于书写, 本文采用“1”表示“-1”。它是关于 0 对称的数字系统, 这个系统既能表示正数也能表示负数, 而无须使用符号位。譬如对自然数的表示是 0, 1, 1 $\bar{1}$, 10, 11, 1 $\bar{1}\bar{1}$, 1 $\bar{1}$ 0, 1 $\bar{1}\bar{1}$ 0, 10 $\bar{1}$, 100...^[7]

例如: 数值 19 在不同的表示系统中有不同的形式:

· 二进制:

$$1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

· 非对称三进制:

$$2 \times 3^2 + 0 \times 3^1 + 1 \times 3^0$$

· 对称三进制:

$$1 \times 3^3 + 1 \times 3^2 + 0 \times 3^1 + 1 \times 3^0$$

而-19的几个相应表示形式为

· 二进制:

$$-(1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0)$$

· 非对称三进制:

$$-(2 \times 3^2 + 0 \times 3^1 + 1 \times 3^0)$$

· 对称三进制:

$$1 \times 3^3 + 1 \times 3^2 + 0 \times 3^1 + 1 \times 3^0$$

对比 19 和-19 的对应表示可见, 对称三进制表示负数时不需要使用符号位。将 19 的各位数字变成对应的相反数就得到-19 的表示。即在对称三进制表示下, 正数和负数有相同的表达形式, 因此, 加法运算过程与减法运算过程相同, 这给加法器设计带来的好处是在做减法的时候无需补码运算, 可以把负数直接送入加法器来完成。

2 对称三进制的加法运算规律

{1, 0, 1}体系一位加法运算如下:

$$0+0=0, \quad 0+1=1, \quad 0+1=1$$

$$1+0=1, \quad 1+1=1\bar{1}, \quad 1+1=0$$

$$1+0=1, \quad 1+1=1\bar{1}, \quad 1+1=0$$

3 对称三进制光学半加器的设计原理

3.1 三值光计算机的信息表示

三值光计算机采用光的 3 个状态(无光和 2 个互相垂直的

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60473008); 上海市高等学校科学技术发展基金资助项目

作者简介: 蔡超(1982-), 女, 硕士研究生, 主研方向: 三值光计算机; 金翊, 教授、博士生导师; 包九龙, 硕士研究生; 汪宇涛, 学士

收稿日期: 2006-10-18 **E-mail:** caichaogood@163.com

偏振光态)来表示信息。为了方便起见,一般采用水平偏振光和垂直偏振光。本文用无光态、垂直偏振光态和水平偏振光态分别表示 0, 1 和 \perp 。

3.2 半加器的外部特征

加法器原则上可以采用 2 个半加器构成, 但将产生严重的进位延时问题。为解决这个问题, 三值光计算机加法器设计出了适合自身的进位直达并行系统, 它由半加器和进位直达部分组成。

半加器的外部特征是有 2 个独立的输入端 a, b , 一个进位输出端 c , 一个本位输出端 d , 见图 1。对于对称三进制加法器, 其输入输出之间满足上述对称三进制的加法运算规律。即: “0” 加任何值本位不变; “1” 和 “ \perp ” 相加本位为 0; 非 “0” 的 2 个相同值相加时, 本位取另一个非 “0” 值; 仅当非 “0” 的 2 个相同值相加时, 进位取此值, 其他情况无进位。

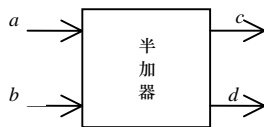


图 1 半加器外部特征

3.3 对称三进制半加器工作原理

图 2 是对称三进制半加器的一种设计, 其中, v_1, v_2, \dots, v_6 为能透过垂直偏振光的偏振片; h_1, h_2, \dots, h_6 为能透过水平偏振光的偏振片; L_1, L_2, \dots, L_9 为液晶器件, 在控制端有信号输入时起旋光作用, 它们的旋光作用都是把通过自身的光线的偏振面旋转 90° ; D_1, D_2, D_3 表示光电管; a 和 b 表示入射光, 粗线表示光路, 细线表示电路; d 表示本位输出端; c 表示进位端。

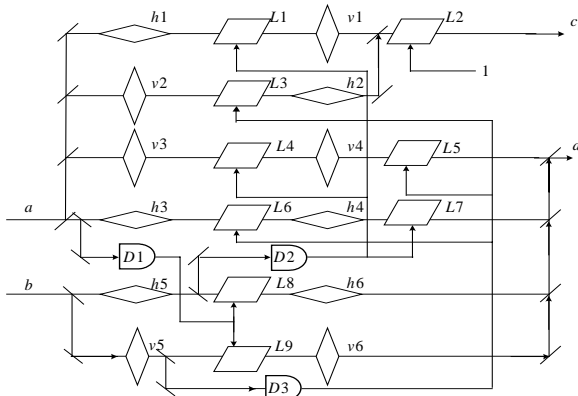


图 2 对称三进制表示的半加器结构

(1) 本位输出端 d

当 $a=0$, 即 a 为无光状态时, D_1 不起作用, 因此, L_8, L_9 不旋光。信号 b 为水平偏振光时通过 h_5, L_8, h_6 输出; b 为垂直偏振光时通过 v_5, L_9, v_6 输出。

当 $a=1$ 时, D_1 起作用, L_8, L_9 旋光, 信号 b 不能通过它们之一到达本位输出端 d ; 其中, 当 $b=0$ 时, D_2, D_3 不起作用, a 通过 v_3, L_4, v_4, L_5 到达本位输出端 d , 即 $d=1$; 当 $b=1$ 时, D_3 起作用, L_5 旋光。因此, a 通过 v_3, L_4, v_4 后没有改变偏振方向, 经过 L_5 的旋光后变成水平偏振光, 即 $d=1$; 当 $b=\perp$ 时, 同理 D_2 起作用, L_4 旋光。因此, a 通过 v_3 后没有改变偏振方向, 经过 L_4 的旋光后变成水平偏振光, 此时的光线不能通过 v_4 , 即 $d=0$ 。

当 $a=\perp$ 时, D_1 起作用, L_8, L_9 旋光, 信号 b 不能通过它

们之一到达本位输出端 d ; 其中, 当 $b=0$ 时, D_2, D_3 不起作用, a 通过 h_3, L_6, h_4, L_7 到达本位输出端 d , 即 $d=1$; 当 $b=1$ 时, D_3 起作用, L_6 旋光。因此, a 通过 h_3 , 经过 L_6 的旋光后改变偏振方向变成垂直偏振光, 不能通过 h_4 , 即 $d=0$; 当 $b=\perp$ 时, 同理 D_2 起作用, L_7 旋光。因此, a 通过 h_3, L_6, h_4 后没有改变偏振方向, 经过 L_7 的旋光后变成垂直偏振光到达本位输出端, 即 $d=1$ 。

(2) 进位输出 c

$a=0$ 时, 即 a 没有信号时, 无论 b 有信号与否, 没有进位产生, $c=0$;

$a=1$ 时, 其中, 当 $b=0$ 时, 旋光器 L_1, L_3 不起作用, a 的信号不能通过 h_2 , 此时 $c=0$; 当 $b=1$ 时, L_3 起作用, 光线通过 v_2 后, 经过 L_3 的旋光变成水平偏振光, 顺利通过 h_2 , 在 L_2 的作用下又变成垂直偏振光, 此时 $c=1$; 当 $b=\perp$ 时, L_3 不起作用, 光线通过 v_2, L_3 后, 不能通过 h_2 , 此时 $c=0$;

$a=\perp$ 时, 其中, 当 $b=0$ 时, 旋光器 L_1, L_3 不起作用, a 的信号不能通过 v_1 , 此时 $c=0$; 当 $b=1$ 时, L_1 起作用, 光线通过 h_1 后, 经过 L_1 的旋光变成垂直偏振光, 顺利通过 v_1 , 在 L_2 的作用下又变成水平偏振光, 此时 $c=1$; 当 $b=\perp$ 时, L_1 不起作用, 光线通过 h_1, L_1 后, 不能通过 v_1 , 此时 $c=0$ 。

3.4 对称三进制加法器与非对称三进制加法器的设计比较

以往的加法器研究中曾采用非对称三进制并设计出相应的结构图^[1]。这 2 种设计只是液晶像素上有稍许增减, 结构没有大的变化, 实现 2 种方案的复杂度基本相同, 但对称三进制有简化减法运算的优点, 因此, 在三值光计算机中计划采用对称三进制半加器。

在对称三进制表示下的加法器同样存在进位延时问题。进位直达并行方法在对称三进制表示下仍是可行的, 只是进位直达通道结构将变得比较复杂, 结构的复杂性会增加加法器制作的难度。然而, 器件上的复杂性与对称三进制在减法运算上的便利性相比是微不足道的。

4 结论

对称三进制加法器的减法运算相对简单, 在三值计算机中采用对称三进制加法器给计算机的应用带来了很大的好处。在三值光计算机中, 理论上用液晶像素阵列可以实现对称三进制光学半加器。

参考文献

- Jin Yi, He Huacan, Lv Yangtian. Ternary Optical Computer Principle[J]. Science in China(Series F), 2003, 46(2): 145-150.
- 王 乐, 李 元, 谈宜育. 一种超前进位加法器的新颖 BIST 架构[J]. 微电子学, 2002, 32(3): 195-197.
- 幸云辉, 杨旭东. 计算机组成原理实用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- 曾平英, 毛志刚, 叶以正. 基于模块化结构的 N 位加法器的测试生成[J]. 微电子学, 1998, 28(6): 396-411.
- 金 翊. 三值光计算机的基本原理和实验[J]. 微机发展, 2005, 15(1).
- Jin Yi, He Huacan, Ai Lirong. Lane of Parallel Through Carry in Ternary Optical Adder[J]. Science in China (Series F), 2005, 48(1): 107-116.
- Hayes B. Third Base[J]. Computing Science, 2001, 89(6): 490-494.