

CORDIC 算法在星图目标质心提取中的应用

樊晓宇, 江 浩

(第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025)

摘 要: 为了能够快速而精确地实现对星图目标的质心提取, 采用质心提取算法中具有较高精度的高斯曲面拟合算法, 利用 CORDIC 算法来设计其中的对数运算模块, 取代以往的查找表结构算法。通过 ModelSim 仿真, 表明该运算模块能够以流水线的方式对数据进行连续处理, 实时性较好。最后在 FPGA 硬件平台上进行验证, 对一幅 512×512 像素的星图进行星点目标质心提取, 试验结果显示该模块的计算误差在 0.005 个像素以内, 定位精度要高于传统的质心法, 而流水线的设计结构使其具有更快运算速度。

关键词: CORDIC; 质心提取; FPGA; 高斯拟合法

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)02-0111-03

The Application of CORDIC Algorithm in Centroid Locating

FAN Xiao-yu, JIANG Hao

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: The Gauss Curve Fitting Methods was used here in order to get the star centroid quickly and accurately. The logarithm in Gauss Curve Fitting Methods was realized by CORDIC methods to replace the traditional way of LUT. A simulation was down by the ModelSim tools, it showed that this module can process the signal in the way of pipeline. At last we tested this module based on the FPGA device with a 512×512 star image. The results showed that its precision is higher than the traditional way of centroid locating with errors under 0.005 pixel and needs less time with the configuration of pipeline.

Key words: CORDIC; centroid locating; FPGA; gauss curve fitting methods

1 引言

星敏感器的工作原理是: 利用图像传感器(CCD 或 APS)拍摄其光轴方向上的一幅星图, 通过星图预处理和质心提取, 计算出星体目标在星图中的位置, 然后利用星图识别算法从导航星库中找到观测星所对应的匹配星, 最后利用这些匹配星对计算出星敏感器的三轴姿态。FPGA 常用于完成对星图目标的质心提取工作, 常用的质心提取算法有质心法和高斯曲面拟合法^[1], 高斯曲面拟合法具有更高的计算精度, 但其实现过程相对要复杂, 主要是涉及大量的对数运算, 在以往的设计当中主要采用查找表的方法来实现, 但查找表法的实时性不高, 并且所使用的资源会随着精度的提高而成倍往上提升。

坐标旋转数字计算机(CORDIC)算法是由 J. Volder^[2]于 1959 年提出的一种用于计算平面直角坐标系和极坐标系下函数值的循环迭代算法, Walther 于 1971 年对该算法的各种模式进行了统一。由于 CORDIC 算法只涉及到加法和移位预算, 因此特别适合于 FGPGA 器件的实现。通过选择合适的初始值 CORDIC 算法可以直接进行基本的三角函数计算^[3], 而通过对多种操作模式的组合, 还可以进行对数等超越函数的计算。文中利用 CORDIC 算法设计了流水线式的对数预算模块, 并将该模块应用于星图质提取心当中。同时对计算精度与迭代次数、数据宽度之间的关系进行了分析, 在满足精度的条件下, 通过选择合适的迭代次数和数据宽度可以达到对资源的合理利用。

2 CORDIC 算法原理

图 1 所示为 CORDIC 算法的基本思想是用一系列与运算基数相关的角度不断偏摆从而逼近所需要的旋转角度。

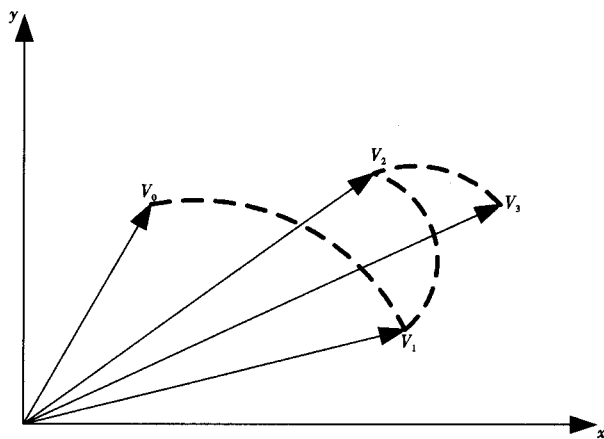


图 1 CORDIC 算法原理

其基本的迭代过程为

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= x_i - m y_i d_i 2^{-i} \\ y_{i+1} &= y_i + x_i d_i 2^{-i} \end{aligned} \quad (1)$$

$$z_{i+1} = z_i - d_i \theta_i$$

其中

$$d_i = \begin{cases} 1 & z_i \geq 0 \\ -1 & z_i < 0 \end{cases} \quad (2)$$

当 m 等于 1、0、-1 时分别对应圆周模式、线性模式和双曲线模式。根据每种模式的逼近方式不同,又可分为旋转模式和向量模式,使 z 趋向于零的过程称为旋转模式,使 y 趋向于零的过程称为向量模式。对于双曲线模式有

$$\theta_i = \operatorname{artanh}(2^{-i}) \quad (3)$$

其向量模式的迭代结果为

$$\begin{aligned} x_n &= A_n \sqrt{x_0^2 - y_0^2} \\ y_n &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$z_n = z_0 + \operatorname{artanh}(y_0/x_0)$$

其中

$$A_n = \prod_n \sqrt{1 - 2^{-2i}} \approx 1.2048 \quad (5)$$

取初始值

$$\begin{aligned} x_0 &= w + 1 \\ y_0 &= w - 1 \end{aligned} \quad (6)$$

$$z_0 = 0$$

则有

$$z_n = \operatorname{artanh}(y_0/x_0) = \frac{1}{2} \ln(w) \quad (7)$$

所以使用 CORDIC 算法可以进行对数运算,为了保证迭代收敛,当迭代次数为 $n=4, 13, 40, k, 3k+1$ 时,迭代必须重复^[4]。

3 CORDIC 算法的 FPGA 实现

实现 CORDIC 结构可以采用两种基本架构:较为简洁的状态机和高速全流水线处理器。在星图质心提取过程中,由于图像的分辨率大,对计算的实时性要求高,因此文中所使用的设计方案为高速全流水线设计方案。设计的结构原理图如图 2 所示。

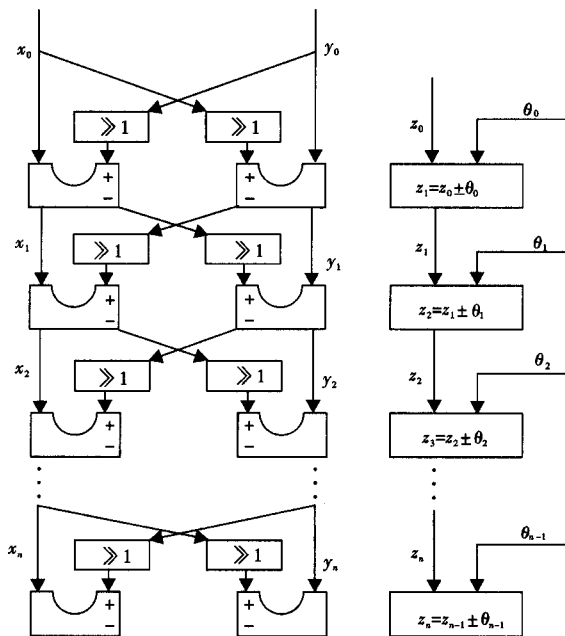


图 2 CORDIC 流水线架构

并行流水线方案是采用 x 、 y 、 z 三个寄存器组,通过逐级迭代的方式来不断逼近所求的函数值。

在星图质心提取过程中其精度需要达到 10^{-4} , CORDIC 算法的计算精度取决于迭代次数以及所使用的数据宽度, Hu^[5] 和韩芳^[6] 等人对计算精度和迭代次数、数据宽度之间的关系进行了较为深入的分析,根据他们的结论,当精度要达到 10^{-4} 时,可以选择迭代次数为 16 次、数据宽度为 24 bit 的模式,也可以选择迭代次数为 19 次、数据宽度为 20 bit 的模式,从运算实时性的角度出发,文中选择前一种模式进行对数函数的模块设计。运用 ModelSim 对 Verilog 程序进行仿真,仿真结果如图 3 所示,从图中可以看出,信号复位之后经过 16 次迭代从第 17 个时钟开始输出结果,计算精度达到了预期的效果,能够以流水线的方式对连续输入数据进行处理。

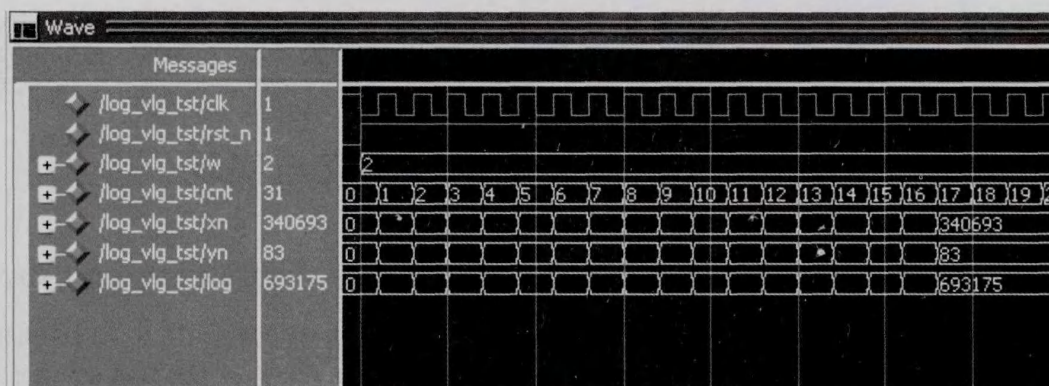


图3 CORDIC算法仿真结果

4 CORDIC算法在质心提取中的应用

质心提取的作用是计算星图中星点的位置坐标,包括粗定位和细定位两个过程,其中细定位是要计算出星点的亚像素级坐标.由于星点的灰度值在星图中近似于高斯分布,因此可以通过构建高斯数学模型来精确计算星点的位置坐标.高斯曲面拟合法计算星点亚像素坐标的公式为

$$x_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\ln f(x_{i+1}, y_j) - \ln f(x_{i-1}, y_j)}{2 \ln f(x_i, y_j) - \ln f(x_{i-1}, y_j) - \ln f(x_{i+1}, y_j)} \quad (8)$$

$$y_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\ln f(x_i, y_{j+1}) - \ln f(x_i, y_{j-1})}{2 \ln f(x_i, y_j) - \ln f(x_i, y_{j-1}) - \ln f(x_i, y_{j+1})} \quad (9)$$

将本文所设计的对数运算模块应用于高斯曲面拟合算法中,其结构如图4所示.

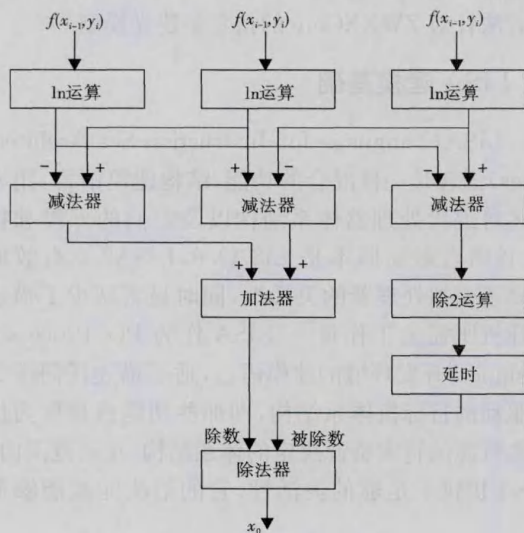


图4 质心计算过程

本文最终在实际的星敏器运算电路中对该设计模块进行了验证试验,所使用的FPGA为ALTERA的EP2C35系列,表1给出了对一幅 512×512 星图中10个星点的质心提取结果.

表1 质心计算结果

星体 序号	理论值		实验结果	
	x	y	x	y
1	34.281 5	492.647 3	34.276 7	492.646 8
2	179.220 9	461.340 0	179.225 7	461.340 1
3	328.433 8	394.386 8	328.438 8	394.394 2
4	379.300 6	427.429 9	379.303 2	427.431 9
5	121.103 5	267.954 1	121.099 9	267.954 3
6	73.904 2	300.397 0	73.909 3	300.394 2
7	240.107 7	360.119 1	240.107 5	360.125 0
8	398.410 9	271.598 4	398.410 6	271.599 1
9	212.877 3	190.889 7	212.879 2	190.897 5
10	387.023 5	77.989 3	387.018 0	77.991 3

从表中可以看出星点位置坐标的误差范围在0.005个像素以内,比使用加权质心法精度提高了6倍多,其最大工作频率可以达到80 MHz,由于使用了流水线式的设计,完成一幅星图的计算需要不到4ms的时间.

5 结束语

本文使用双曲线模式下的CORDIC算法设计了流水式的对数运算模块,并将该模块应用于星图目标质心提取当中,实现了具有较高精度的高斯曲面拟合算法,通过在实际的星敏器运算电路中进行验证,结果表明该设计模块实时性好、精度高,最大工作频率可以达到80 MHz,在精度上比加权质心法提高了6倍多.

(下转第118页)

用,效果良好.使用 PD 基于 LISA 模型生成汇编器,开发人员只需专注于指令集建模,大大提高了汇编器开发人员的工作效率,同时支持符号处理和汇编伪指令,使针对特定目标机的汇编器开发更加方便、高效. PD 集成开发环境还针对汇编代码的优化问题提供了通用的窥孔优化器,如需针对目标机进行汇编代码优化,只需修改优化器配置文件即可实现.

参考文献:

- [1] 王晓栋. 基于嵌入式系统的交叉汇编器的研究与实现 [J]. 工业控制计算机, 2004, 17(3): 34-35.
- [2] 嵌入式系统下交叉汇编器的移植 [J]. 重庆邮电大学学报, 2009, 21(5): 650-652.
- [3] CoWare, Inc. LISA Language Reference Manual [EB/

DK]. 1996-2006.

- [4] CoWare, Inc. Assembler Reference Manual [EB/ DK]. 1996-2006.
- [5] CoWare, Inc. LISA Modeling Fundamentals [EB/ DK]. 1996-2006.
- [6] CoWare, Inc. Processor Designer Training Manual [EB/DK]. 1996-2006.

作者简介:

魏 国 男, (1986—), 硕士. 研究方向为计算机软件与理论.

吴 健 男, (1961—), 教授. 研究方向为 Web 计算、软件工程、服务计算.

阮 园 女, (1975—), 高级工程师. 研究方向为数字信号处理器.

(上接第 113 页)

参考文献:

- [1] 王海涌, 费峥红, 王新龙. 基于高斯分布的星像点精确模拟及质心计算 [J]. 光学精密工程, 2009, 17(7): 1672-1677.
- [2] Volder J E. The CORDIC trigonometric computing technique [J]. IRE Transactions on Computers, 1959 (C-8): 330-334.
- [3] 张建斌, 梁 芳, 刘乃安. 一种改进型 CORDIC 算法的 FPGA 实现 [J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(11): 181-184.
- [4] Ahmed H M, Delosme J M, Morf M. Highly concurrent computing structure for matrix arithmetic and signal processing [J]. IEEE Comput, 1982, 15(9): 65-

82.

- [5] Hu Y H. The quantization effects of the CORDIC-algorithm [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1992: 834-844.
- [6] 韩芳, 初建朋, 赖宗声. 一种 CORDIC 算法精度分析及其在 FFT 设计中的应用 [J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(7): 14-16.

作者简介:

樊晓宇 男, (1985—), 硕士研究生. 研究方向为组合导航应用.

江 浩 男, (1971—), 副教授, 硕士生导师. 研究方向为导航、制导与控制.