



# Gowin CORDIC IP

## 用户指南

IPUG522-1.3,2020-03-26

## **版权所有© 2020 广东高云半导体科技股份有限公司**

未经本公司书面许可，任何单位和个人都不得擅自摘抄、复制、翻译本档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

### **免责声明**

本档并未授予任何知识产权的许可，并未以明示或暗示，或以禁止发言或其它方式授予任何知识产权许可。除高云半导体在其产品的销售条款和条件中声明的责任之外，高云半导体概不承担任何法律或非法律责任。高云半导体对高云半导体产品的销售和 / 或使用不作任何明示或暗示的担保，包括对产品的特定用途适用性、适销性或对任何专利权、版权或其它知识产权的侵权责任等，均不作担保。高云半导体对档中包含的文字、图片及其它内容的准确性和完整性不承担任何法律或非法律责任，高云半导体保留修改档中任何内容的权利，恕不另行通知。高云半导体不承诺对这些档进行适时的更新。

## 版本信息

日期	版本	说明
2018/09/18	1.0	初始版本。
2019/03/28	1.1	IP 适用产品更新。
2019/09/06	1.2	补充 ITERATE 模式相关描述及时序说明。
2020/03/26	1.3	CORDIC 算法描述更新。

# 目录

目录 .....	i
图目录 .....	ii
表目录 .....	iii
<b>1 关于本手册 .....</b>	<b>1</b>
1.1 手册内容 .....	1
1.2 相关文档 .....	1
1.3 术语、缩略语 .....	1
1.4 技术支持与反馈 .....	1
<b>2 概述 .....</b>	<b>2</b>
2.1 Gowin CORDIC IP 介绍 .....	2
2.2 CORDIC 算法简介 .....	2
<b>3 特征与性能 .....</b>	<b>3</b>
3.1 主要特征 .....	3
3.2 最大频率 .....	3
3.3 延迟 Latency .....	3
3.4 资源利用 .....	4
<b>4 功能描述 .....</b>	<b>5</b>
4.1 CORDIC 结构 .....	5
4.2 基本计算 .....	5
4.3 端口描述 .....	6
4.4 时序说明 .....	7
<b>5 CORDIC 调用及配置 .....</b>	<b>9</b>
<b>6 参考设计 .....</b>	<b>11</b>

# 图目录

图 4-1 CORDIC 实现框图 .....	5
图 4-2 CORDIC IP 端口图 .....	7
图 4-3 CORDIC PIPELINE 模式时序图 .....	8
图 4-4 CORDIC ITERATE 模式时序图 .....	8
图 5-1 CORDIC 配置界面图 .....	9

# 表目录

表 1-1 术语、缩略语.....	1
表 2-1 Gowin CORDIC IP 概述 .....	2
表 3-1 CORDIC 占用资源.....	4
表 4-1 CORDIC 的 I/O 列表 .....	7

# 1 关于本手册

## 1.1 手册内容

Gowin CORDIC IP 用户指南主要内容包括功能特征、端口描述、时序说明、配置调用、参考设计等。主要用于帮助用户快速了解 Gowin CORDIC IP 的产品特性、特点及使用方法。

## 1.2 相关文档

通过登录高云半导体网站 [www.gowinsemi.com.cn](http://www.gowinsemi.com.cn) 可以下载、查看 FPGA 产品相关文档。

## 1.3 术语、缩略语

表 1-1 中列出了本手册中出现的相关术语、缩略语及相关释义。

表 1-1 术语、缩略语

术语、缩略语	全称	含义
IP	Intellectual Property	知识产权
LUT	Look-up Table	查找表

## 1.4 技术支持与反馈

高云半导体提供全方位技术支持，在使用过程中如有任何疑问或建议，可直接与公司联系：

网址：[www.gowinsemi.com.cn](http://www.gowinsemi.com.cn)

E-mail：[support@gowinsemi.com](mailto:support@gowinsemi.com)

Tel: +86 755 8262 0391

# 2 概述

## 2.1 Gowin CORDIC IP 介绍

Gowin CORDIC IP 能够实现  $\sin$ 、 $\cos$ 、 $\arctan$  计算，实现极坐标与直角坐标之间的相互转换以及向量旋转。

**表 2-1 Gowin CORDIC IP 概述**

CORDIC IP	
IP 核应用	
芯片支持	GW1N、GW1NR 系列 GW2A、GW2AR 系列 GW1NZ、GW1NSR 系列 GW1NS 系列
逻辑资源	请参见表 3-2 及表 3-3
交付文件	
设计文件	Verilog (encrypted)
参考设计	Verilog
TestBench	Verilog
测试设计流程	
综合软件	Synplify_Pro
应用软件	Gowin Software

## 2.2 CORDIC 算法简介

CORDIC 算法，即坐标旋转数字计算机（Coordinate Rotation Digital Computer）算法，是一种利用预存的值进行基本的加减和移位运算，从而能递归计算常用的函数值，如  $\sin$ 、 $\cos$ 、 $\arctan$ 。Gowin CORDIC IP 能够实现  $\sin$ 、 $\cos$ 、 $\arctan$  计算，实现极坐标与直角坐标之间的相互转换以及向量旋转。



# 3 特征与性能

## 3.1 主要特征

- 支持  $\sin$ 、 $\cos$ 、 $\arctan$  计算；
- 支持极坐标与直角坐标之间的相互转换以及向量旋转；
- 可选弧度、角度模式，弧度范围  $(-\pi/2, \pi/2)$ ，角度范围  $(-90^\circ, 90^\circ)$ ；
- 当我们选择 VECTOR 模式时，输入  $x_i$ 、 $y_i$  值小于等于 0.858，当我们进行极坐标转直角坐标时输入  $x_i$  的值小于等于 1.214；
- 复位模式为同步复位；
- 输入  $x$ 、 $y$ 、 $\theta$  的位宽为 17 位；
- 有 COMBINATORIAL、ITERATE、PIPELINE 三种实现方法可选择，COMBINATORIAL 是在消耗很多 logic 的情况下在一个周期内求解，ITERATE 模式消耗 logic 少但是时钟延时长，PIPELINE 开始时时钟延时也较长但是之后可以每个时钟周期都产生结果。

## 3.2 最大频率

CORDIC 的最大频率主要根据所用器件的速度等级（speed grade of the devices）确定，可达到 95M。

## 3.3 延迟 Latency

CORDIC Latency 指数据输入至数据输出之间的时间延迟周期。

CORDIC IP 不同模式下输入、输出之间延时不同，PIPELINE 模式输入、输出之间延时 15 个时钟周期，ITERATE 模式延时 17 个时钟周期，COMBINATORIAL 模式为纯组合逻辑，延时不确定。

## 3.4 资源利用

通过 Verilog 语言实现 CORDIC。因使用器件的密度、速度、等级不同以及 IP 配置模式不同，其性能和资源利用情况可能不同。

以高云 GW2A-55 系列 FPGA 为例，以 ITERATE 模式为例介绍 CORDIC 的资源利用情况，CORDIC 其资源利用情况如表 3-1 所示，有关在其他高云 FPGA 上的应用验证，请关注后期发布信息。

**表 3-1 CORDIC 占用资源**

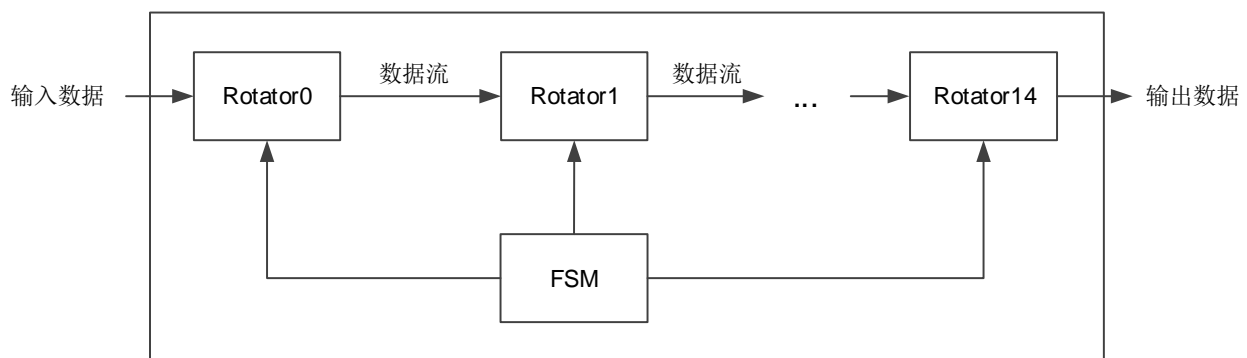
器件系列	速度等级	器件名称	资源利用	备注
GW2A-55	-7	LUT	474	-
		ALU	54	
		REG	73	

# 4 功能描述

## 4.1 CORDIC 结构

在 FPGA 中通过状态机控制 rotator 和 shifter 进行迭代，最终实现 CORDIC。实现框图如图 4-1 所示。

图 4-1 CORDIC 实现框图



## 4.2 基本计算

### sin、cos 的计算

高云 CORDIC 现阶段在使用时为了提高精度，进行弧度 sin 和 cos 计算时，除了选择 ROTATE 模式之外，用户输入为  $x_i=0.607253 \cdot 2^{15}$ 、 $y_i=0$ 、 $\theta_i$ =所求弧度角度  $\theta \cdot 2^{15}$ ，最终  $x_o=2^{15} \cdot \cos\theta$ ， $y_o=2^{15} \cdot \sin\theta$ 。

### arctan 的计算

进行弧度 arctan 计算时需要选择 VECTOR 模式，输入  $x_i$ =用户所需  $x \cdot 2^{15}$ 、 $y_i$ =用户所需  $y \cdot 2^{15}$ 、 $\theta_i=0$ ，最后的输出  $\theta_o=2^{15} \cdot \arctan$ 。（用户所需  $x$ 、 $y$  不能超过 0.858）。

### 直角坐标转极坐标

进行弧度直角坐标转极坐标时选择 VECTOR 模式，当用户所求直角坐标为  $(x, y)$  时，那用户需先将  $x$ 、 $y$  先乘 0.607253 再乘  $2^{15}$  输入  $x_i$ 、 $y_i$ ，得到的  $x_o/2^{15}$  即为极坐标  $\rho$  值，输出  $\theta/2^{15}$  即为极坐标  $\theta$  值。(用户所需  $x$ 、 $y$  不能超过 0.858)。

### 极坐标转直角坐标

极坐标转直角坐标时，进行 ROTATE 运算， $x_i$ =用户所需  $\rho*0.607253*2^{15}$ 、 $y_i=0$ 、 $\theta_i$ =所求弧度角度  $\theta*2^{15}$ ，最终  $x_o/2^{15}$ 、 $y_o/2^{15}$  值即为  $(\rho, \theta)$  对应的  $(x, y)$  值。(用户所需  $\rho$  值不能超过 1.214)。

### 进行旋转坐标

当旋转  $\theta$  角后求旋转后定点坐标时选择 ROTATE 模式，先将用户所求直角坐标  $(x, y)$  中的  $x$ 、 $y$  值乘 0.607253 再乘  $2^{15}$  后输入  $x_i$ 、 $y_i$ ， $\theta_i$ =所求弧度角度  $\theta*2^{15}$ ，最后输出  $x_o/2^{15}$ 、 $y_o/2^{15}$  即为旋转后的坐标。(用户所求  $x$ 、 $y$  不能超过 0.858)。

### 角度模式

角度计算只需把上述角度中的  $2^{15}$  变成  $2^8$  即可， $x$ 、 $y$  的输入输出仍旧是  $2^{15}$ 。

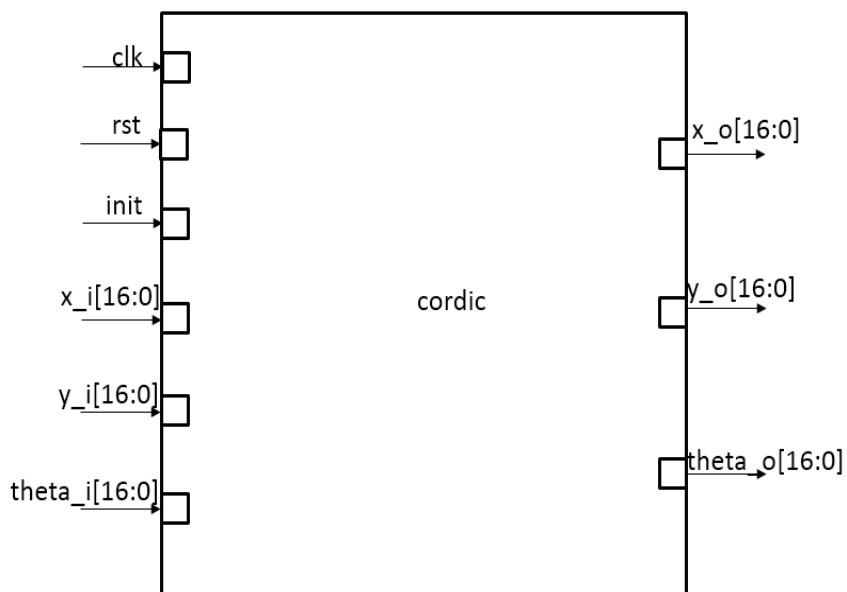
### ITERATE 模式

使用 ITERATE 模式进行计算时，在每次计算开始时  $init$  信号需要保持一个时钟周期的高电平并且在  $init$  信号处于高电平期间输入需要计算的数据，17 个时钟周期之后得到输出结果；在得到输出结果之后，重新给予输入值以及  $init$  信号进行新的计算，具体时序请参考 4.4 时序说明。

## 4.3 端口描述

CORDIC IP 的 IO 端口如下图 4-2 所示

图 4-2 CORDIC IP 端口图



选择的模式不同，CORDIC IP Core 的接口可能会略有不同。

有关 CORDIC 的 IO 端口详情，如表 4-1 所示。

表 4-1 CORDIC 的 I/O 列表

信号	方向	描述
clk	input	时钟
rst	input	复位(高电平有效)
init	input	ITERATIVE 模式加载输入值
x_i	input[16:0]	x 输入, 17bit signed
y_i	input[16:0]	y 输入, 17bit signed
theta_i	input[16:0]	theta 输入, 17bit signed
x_o	output[16:0]	x 输出, 17bit signed
y_o	output[16:0]	y 输出, 17bit signed
theta_o	output[16:0]	theta 输出, 17bit signed

## 4.4 时序说明

CORDIC 的时序情况如下所述。

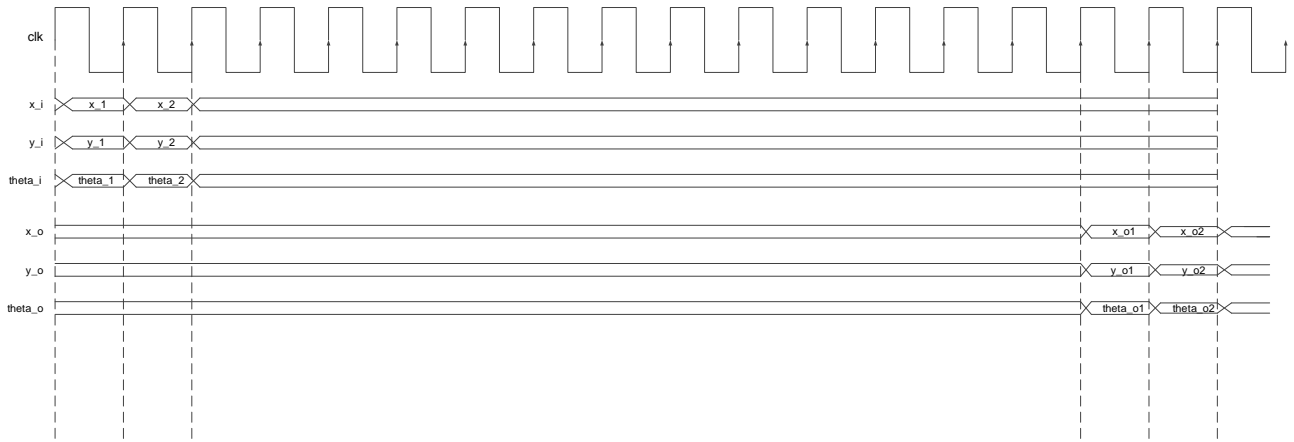
PIPELINE 模式每个时钟周期都有输入，在 15 个时钟周期后每个时钟周期都有输出。

COMBINATORIAL 模式是组合逻辑进行迭代，在单个时钟周期产生输入输出。

ITERATE 模式一个时钟周期输入后，延时 17 个时钟周期输出但是必须在输出之后才能继续进行输入。

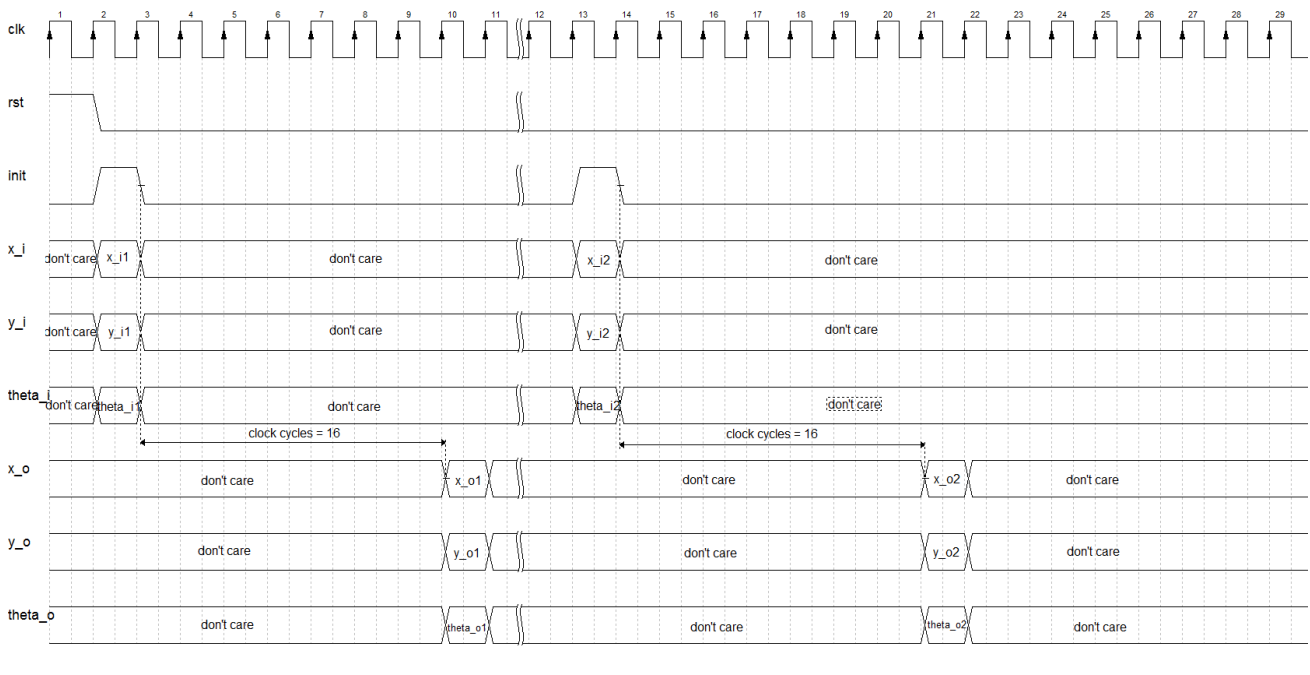
CORDIC PIPELINE 模式的时序图如图 4-3 所示。

图 4-3 CORDIC PIPELINE 模式时序图



CORDIC ITERATE 模式的时序图如图 4-4 所示。

图 4-4 CORDIC ITERATE 模式时序图

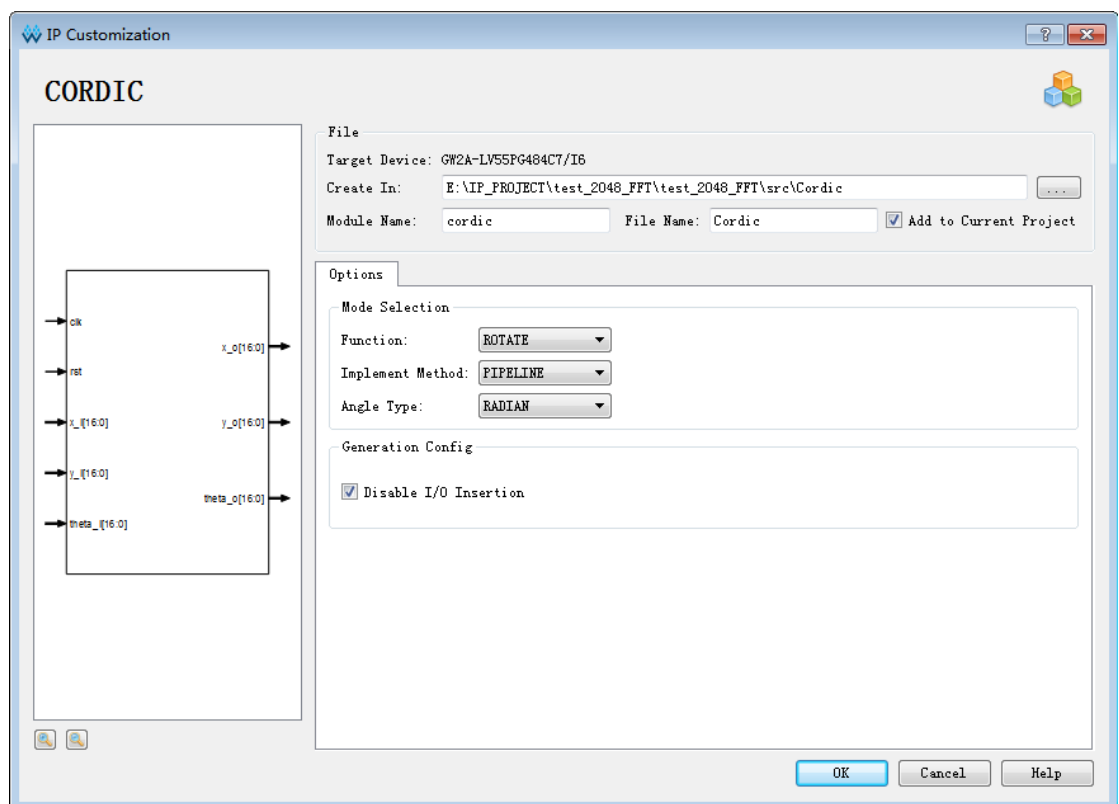


# 5 CORDIC 调用及配置

在高云云源软件界面菜单栏 Tools 下，可启动 IP Core Generator 工具，完成调用并配置 CORDIC IP。

CORDIC 配置界面如图 5-1 所示。

图 5-1 CORDIC 配置界面图



GOWIN CORDIC 有三个选项组：Function、Implement Method 与 Angle Type。

- Function 有 VECTOR 与 ROTATE 两个选项，根据需要完成的功能进行选择；

- Implement Method 有 PIPELINE、ITERATE 和 COMBINATORIAL 三个选项可选。选择 ITERATE 模式则左侧模块示意图中多出 init 输入信号，PIPELINE、COMBINATORIAL 两种模式则没有此信号输入；
- Angle Type 有 RADIAN 与 DEGREE 两个选项可选，根据实际情况选择弧度或是角度模式。



# 6 参考设计

本节主要介绍 **CORDIC** 的参考设计实例的搭建及其使用方法。**CORDIC** 的设计实例只有一个模块，详细信息见 **CORDIC** 的 [reference design](#)。

在设计实例中，其运行步骤如下所示：

1. 我们将文档中存储地一串数据输入到 **CORDIC IP**；
2. 通过 **CORDIC IP** 计算后得到输出，再与正确数据进行比较。

利用该设计实例能够快速验证 **CORDIC** 的功能。当该参考设计应用于板级测试时，用户需为参考设计提供合适的激励，信号的观测可配合在线逻辑分析仪或示波器进行。

