



Gowin CORDIC IP

用户指南

IPUG522-2.0,2020-06-01

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。
2020/06/01	2.0	<ul style="list-style-type: none">● 数据位宽可调整● 迭代次数可调整● 新增、修正部分描述● 更新图例

目录

目录	i
图目录	ii
表目录	iii
1 关于本手册	1
1.1 手册内容	1
1.2 相关文档	1
1.3 术语、缩略语	2
1.4 技术支持与反馈	2
2 概述	3
2.1 Gowin CORDIC IP 介绍	3
2.2 CORDIC 算法简介	3
3 特征与性能	4
3.1 主要特征	4
3.2 最大频率	4
3.3 延迟 Latency	4
3.4 资源利用	5
4 功能描述	6
4.1 CORDIC 结构	6
4.2 基本计算及模式说明	6
4.3 端口描述	8
4.4 时序说明	9
5 CORDIC 调用及配置	11
6 参考设计	13

图目录

图 4-1 CORDIC 实现框图.....	6
图 4-2 CORDIC IP 端口图.....	8
图 4-3 CORDIC PIPELINE 模式时序图.....	10
图 4-4 CORDIC ITERATE 模式时序图.....	10
图 5-1 CORDIC 配置界面图.....	11

表目录

表 1-1 术语、缩略语	2
表 2-1 Gowin CORDIC IP 概述.....	3
表 3-1 CORDIC 占用资源.....	5
表 4-1 CORDIC 的 I/O 列表.....	9

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 可以下载、查看以下相关文档：

1. [DS100](#)，GW1N 系列 FPGA 产品数据手册
2. [DS117](#)，GW1NR 系列 FPGA 产品数据手册
3. [DS821](#)，GW1NS 系列 FPGA 产品数据手册
4. [DS841](#)，GW1NZ 系列 FPGA 产品数据手册
5. [DS861](#)，GW1NSR 系列 FPGA 产品数据手册
6. [DS871](#)，GW1NSE 系列安全 FPGA 产品数据手册
7. [DS881](#)，GW1NSER 系列安全 FPGA 产品数据手册
8. [DS891](#)，GW1NRF 系列蓝牙 FPGA 产品数据手册
9. [DS102](#)，GW2A 系列 FPGA 产品数据手册
10. [DS226](#)，GW2AR 系列 FPGA 产品数据手册
11. [DS961](#)，GW2ANR 系列 FPGA 产品数据手册
12. [DS971](#)，GW2AN 系列 FPGA 产品数据手册
13. [SUG100](#)，Gowin 云源软件用户指南

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
CORDIC	Coordinate Rotation Digital Computer	坐标旋转数字计算

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

E-mail：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

Gowin CORDIC IP	
IP 核应用	
芯片支持	GW 全系列
逻辑资源	-
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 YunYuan

2.2 CORDIC 算法简介

CORDIC（坐标旋转数字计算）是一种计算 \sin （正弦）、 \cos （余弦）和 \arctan （反正切）等超越函数的算法。该算法的工作原理是将超越函数的计算简化为若干个微旋转，其中反正切值预先计算并加载到表中。这种方法将超越函数的计算简化成加法、减法、比较和移位的组合。Gowin CORDIC IP 能够实现 \sin 、 \cos 、 \arctan 、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；
- 支持弧度 (RADIAN)、角度 (DEGREE) 两种角度模式，弧度范围 ($-\pi/2, \pi/2$)，角度范围 ($-90^\circ, 90^\circ$)；
- 支持同步复位；
- 支持数据位宽可调；
- 支持算法迭代次数可调；
- 支持 COMBINATORIAL、ITERATE、PIPELINE 三种实现方法。

3.2 最大频率

Gowin CORDIC IP 的最大频率主要根据所用器件及其速度等级 (speed grade of the devices) 确定，以 GW2A-55 系列 FPGA 为例，可达到 95M。

3.3 延迟 Latency

Gowin CORDIC IP 的 Latency 指数据输入至数据输出之间的时间延迟周期。

Gowin CORDIC IP 在不同模式下输入、输出之间延迟不同，实际延迟与迭代次数 (Iteration Accuracy, 简称 Iterations) 相关。

- PIPELINE 模式延时 Iterations 个时钟周期；
- ITERATE 模式延时 Iterations 个时钟周期；
- COMBINATORIAL 模式为纯组合逻辑，延时周期为 1。

3.4 资源利用

Gowin CORDIC IP 通过 Verilog 语言实现。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。

Gowin CORDIC IP 以 GW2A-55 系列 FPGA，ROTATE，ITERATE，RADIANT 模式为例介绍资源利用情况，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

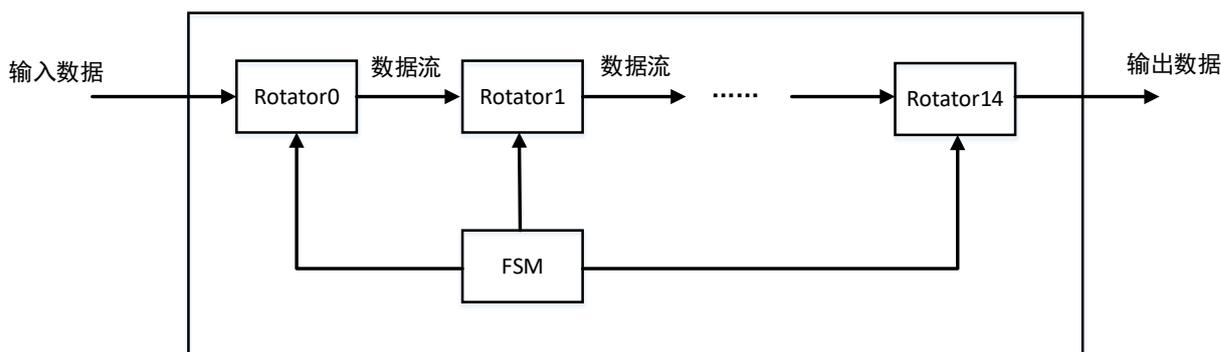
器件系列	速度等级	器件名称	资源利用	备注
GW2A-55	C8/I7	LUT	329	-
		ALU	54	
		REG	55	

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 基本计算及模式说明

Gowin CORDIC IP 的输入、输出数据以定点方式（补码）进行计算，相关功能的计算说明如下：

sin、cos 的计算

进行弧度 sin 和 cos 计算时，选择 ROTATE 模式，用户输入为 $x_i=0.607253$ 、 $y_i=0$ 、 $\theta_i=\theta$ ，最终输出 $x_o=\cos\theta$ ， $y_o=\sin\theta$ 。

注！

- 文中表述的 $\cos\theta/\sin\theta/0.607253$ 等，为描述方便，使用浮点值进行描述，实际计算时，需转化为对应位宽的定点值再进行计算。
- $\cos\theta/\sin\theta$ 范围 $[-1,1]$ ， θ 范围 $(-\pi/2,\pi/2)$ 。
- 0.607253 是算法设定的增益常数，即 Cordic Gain，下方同理。

arctan 的计算

进行弧度 arctan 计算时，选择 VECTOR 模式，用户输入为 $x_i = \cos\theta$ 、 $y_i = \sin\theta$ 、 $\theta_i = 0$ ，最终输出 $\theta_o = \arctan\theta$ 。

注！

$\cos\theta$ 与 $\sin\theta$ 不能超过 0.858。

直角坐标转极坐标

进行弧度直角坐标 (x,y) 转极坐标 (ρ, θ) 时，选择 VECTOR 模式，直角坐标为 (x, y) 时，用户输入为 $x_i = 0.607253*x$ ， $y_i = 0.607253*y$ ，最终输出 $x_o = \rho$ ， $\theta_o = \theta$ 。

注！

x 、 y 值不能超过 0.858。

极坐标转直角坐标

进行极坐标 (ρ, θ) 转直角坐标 (x,y) 时，选择 ROTATE 模式，极坐标为 (ρ, θ) 时， $x_i = \rho * 0.607253$ 、 $y_i = 0$ 、 $\theta_i = \theta$ ，最终输出 $x_o = x$ 、 $y_o = y$ 。

注！

ρ 值不能超过 1.214。

进行旋转坐标

当 (x_0, y_0) 旋转 θ 角后，求旋转后坐标 (x_1, y_1) 时，选择 ROTATE 模式，用户输入为 $x_i = 0.607253*x_0$ ， $y_i = 0.607253*y_0$ ， $\theta_i = \theta$ ，最终输出 $x_o = x_1$ 、 $y_o = y_1$ 。

注！

x_0 、 y_0 不能超过 0.858。

角度模式

角度模式 (Angle Type) 分为：弧度 (RADIAN)、角度 (DEGREE)。弧度范围为 $(-\pi/2, \pi/2)$ ，角度范围为 $(-90^\circ, 90^\circ)$ 。

Gowin CORDIC IP 的角度模式选择不同，输入/输出角度值的定点表示如下：

- 弧度的定点位宽表示：Theta Bits = 1(Sign Bit) + 1(Whole Number Bit) + Fractional Number Bits。例如 Theta Bits=17，则 Fractional Number Bits=15。
- 角度的定点位宽表示：Theta Bits = 1(Sign Bit) + 8(Whole Number Bits) + Fractional Number Bits。例如 Theta Bits=17，则 Fractional Number Bits=8。

其中，Sign Bit 表示符号位，Whole Number Bits 表示整数位宽，Fractional Number Bits 表示小数位宽。

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，`Iterations` 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。

数据解读

`x/y` 的定点位宽表示： $XY \text{ Bits} = 1(\text{Sign Bit}) + 1(\text{Whole Number Bit}) + \text{Fractional Number Bits}$ ；例如 $XY \text{ Bits} = 17$ ，则 $\text{Fractional Number Bits} = 15$ 。

其中，`Sign Bit` 表示符号位，`Whole Number Bits` 表示整数位宽，`Fractional Number Bits` 表示小数位宽。

以增益常数 0.607253 为例，将其转化为定点值，则输入 IP 的 $x_i = 17'd19898$ ($\text{Fractional Number Bits} = 15$)。

若输出的 $x_o = 17'd19898$ ，则将其转化为浮点值 ($\text{Fractional Number Bits} = 15$) 约为 0.607239。

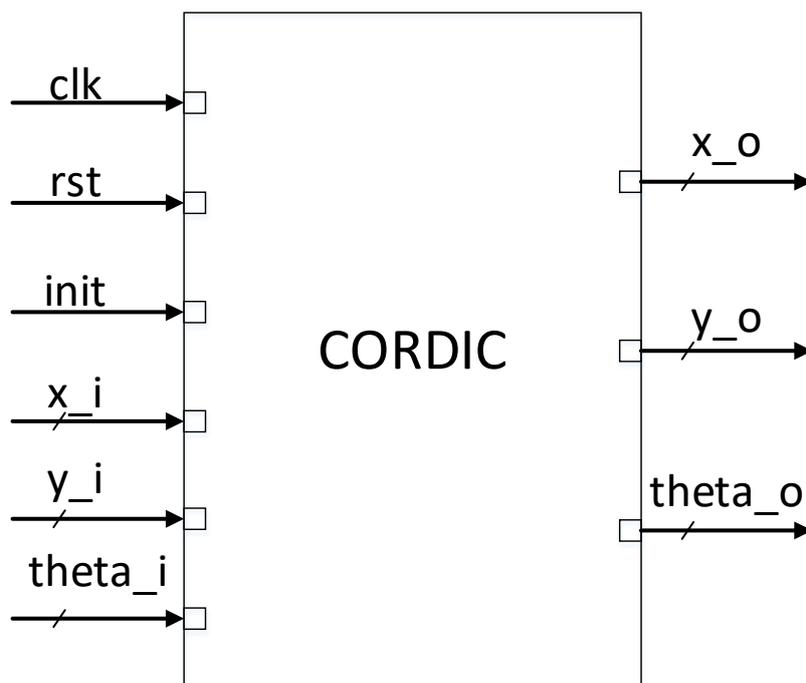
注!

- 浮点值 $\times (2^{\text{Fractional Number Bits}})$ ，可表示输入的定点值。
- 定点值 $\div (2^{\text{Fractional Number Bits}})$ ，可表示输出的浮点值。

4.3 端口描述

Gowin 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 Gowin CORDIC IP 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	当选择 ITERATE 模式时，端口存在；当 init=1 时，加载输入值
x_i	input	x 输入，位宽 17~32，signed
y_i	input	y 输入，位宽 17~32，signed
theta_i	input	theta 输入，位宽 17~32，signed
x_o	output	x 输出，位宽 17~32，signed
y_o	output	y 输出，位宽 17~32，signed
theta_o	output	theta 输出，位宽 17~32，signed

注！

- x_i,y_i,x_o,y_o 位宽一致，由配置参数“XY Bits”值决定；
- theta_i,theta_o 位宽一致，由配置参数“Theta Bits”值决定。

4.4 时序说明

以“XY Bits=17”，“Theta Bits=17”，“Iteration Accuracy=16”配置为例，Gowin CORDIC IP 的时序情况如下所述。

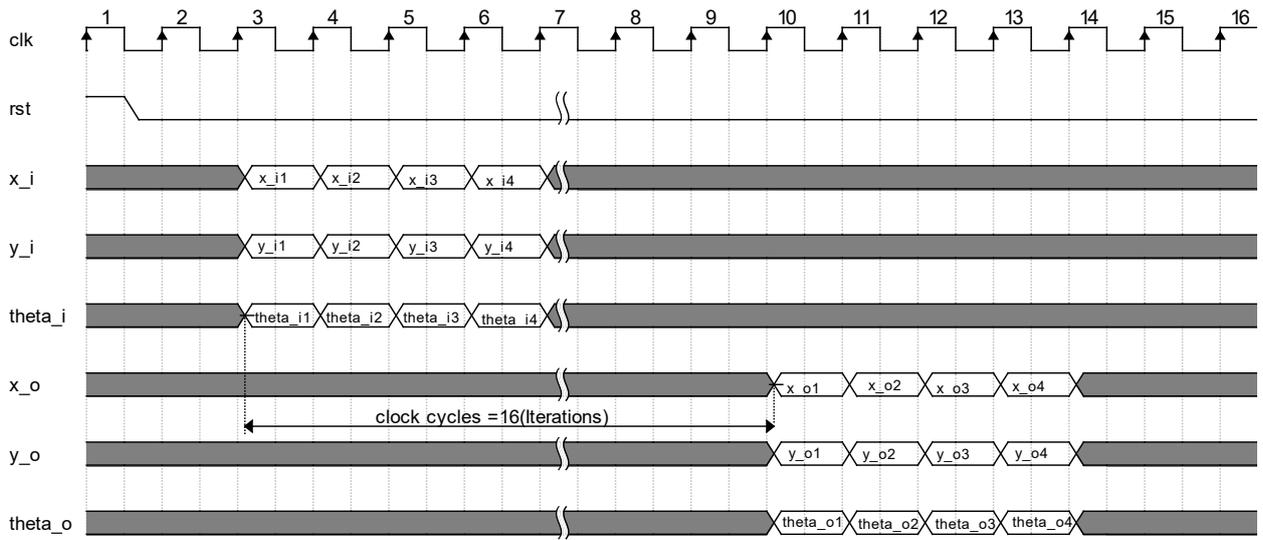
PIPELINE 模式每个时钟周期都有输入，在 16（Iterations）个时钟周期后每个时钟周期都有输出。

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 16（Iterations）个时钟周期输出但是必须在输出之后才能继续进行输入。

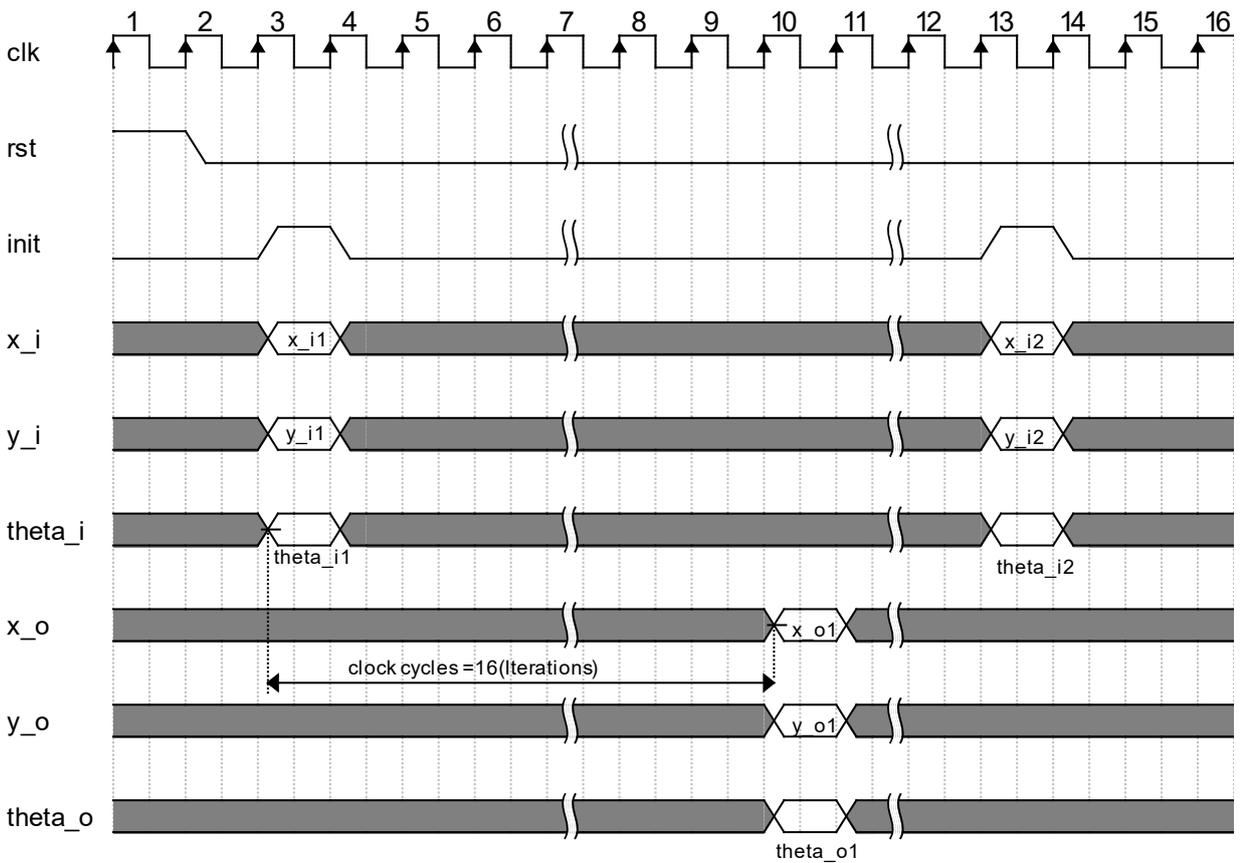
PIPELINE 模式的时序图如图 4-3 所示。

图 4-3 CORDIC PIPELINE 模式时序图



ITERATE 模式的时序图如图 4-4 所示。

图 4-4 CORDIC ITERATE 模式时序图

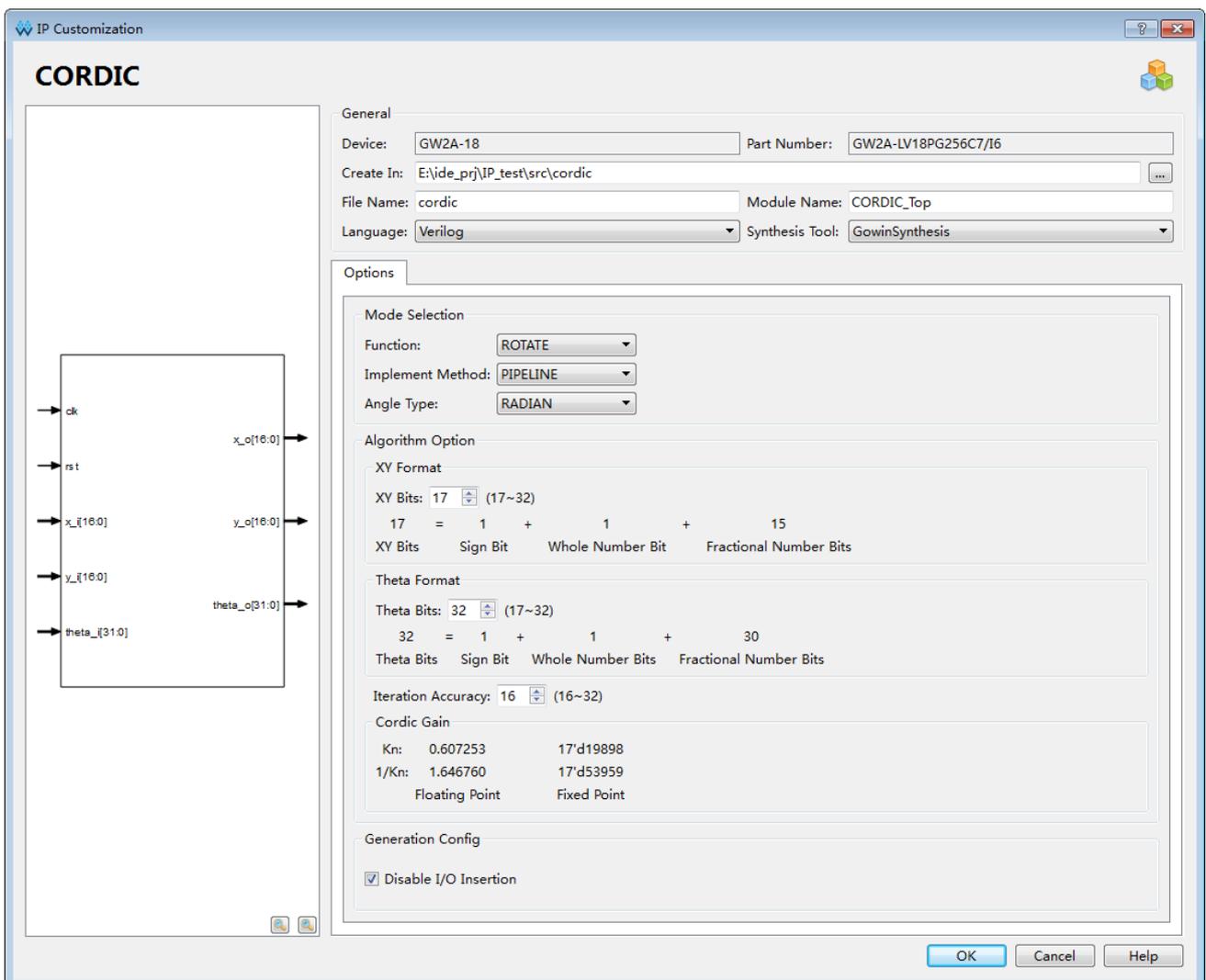


5 CORDIC 调用及配置

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 Gowin CORDIC IP。

Gowin CORDIC IP 配置界面如图 5-1 所示。

图 5-1 CORDIC 配置界面图



Gowin CORDIC IP 的模式选择有三个选项组：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 init 输入；
- Angle Type 有弧度（RADIAN）与角度（DEGREE）两个选项可选，根据实际情况选择弧度或是角度模式。

Gowin CORDIC IP 的算法配置选项如下：

- XY Format: 设定 x_i 、 x_o 、 y_i 、 y_o 的位宽（XY Bits），范围 17~32；其中，Sign Bit 表示符号位，Whole Number Bit 表示整数位宽，Fractional Number Bits 表示小数位宽。
- Theta Format: 设定 θ_i 、 θ_o 的位宽（Theta Bits），范围 17~32；其中，Sign Bit 表示符号位，Whole Number Bits 表示整数位宽，Fractional Number Bits 表示小数位宽。
- Iteration Accuracy: 设定迭代次数，范围 16~32；
- Cordic Gain: 只读，cordic 算法的增益常数。

6 参考设计

本节主要介绍 Gowin CORDIC IP 的参考设计实例的搭建及其使用方法。Gowin CORDIC IP 的设计实例只有一个模块，详细信息见 IP 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。

