

## Matlab 定点仿真在 FPGA 验证平台中的应用

苏 丽

(西安电子科技大学 电子工程学院, 陕西 西安 710071)

**摘 要** 无论在雷达系统还是在通信系统当中, 对其各种信号处理方法进行仿真时, 数据是以浮点形式参与运算, 当把算法移植到硬件中实现时, 数据是以固定长度的二进制形式参与运算。文中介绍如何利用 Matlab 定点工具箱实现数据的浮点到定点转换, 并结合设计实例, 阐明了定点仿真在 FPGA 验证平台中的应用。实践证明, 进行定点仿真是 FPGA 实现的前提, 同时还可以验证 FPGA 中运算结果的正确性。

**关键词** 信号处理; 定点工具箱; FPGA; 验证平台

**中图分类号** TN911.7 **文献标识码** A **文章编号** 1007-7820(2013)05-071-03

## Application of Matlab Fixed-point Simulation to the Verification of FPGA

SU Li

(School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract** Both in the radar system and the communication system, when simulating its various signal processing methods, Data participates in computing in the form of floating-point, while the algorithms are implemented in hardware (FPGA), The data participate in the operation in the form of fixed-length binary. This article firstly describes how to use Fixed-Point toolbox to achieve the data conversion from the floating-point to the fixed-point. Finally, an example is designed to describe the application of fixed-point simulation to the verification in FPGA. Experiments show that, The fixed-point simulation is the basis of the implementation of FPGA, and also verify the correctness of the result of FPGA.

**Keywords** signal processing; fixed-point toolbox; FPGA; verification

在当代雷达和通信系统中,随着设计复杂度的逐步提高以及对数据处理的实时性要求较高的情况下,在 FPGA 实现时对器件的要求也越来越高,随之而来是成本的提高。因此,在确定一个算法或一个设计在理论可行的前提下,能否控制成本,是顺利在 FPGA 上实现的重要问题。因此,在 FPGA 实现前对设计进行定点仿真有两点好处:(1)可以确定方案的可行性和器件的选型。(2)节约大量的调试时间。

## 1 定点仿真

在使用 Matlab 对算法进行仿真时,数据是以浮点形式参与运算,这样所得运算结果既能完全保证数据的精度,又能反映真实的理论结果。但在实际的工程实现时,数据是以固定长度的二进制形式参与运算。因此,为了能够准确地反映硬件实现时算法的性能,需要对数据的类型重新定义,使得所表示的数据能够更加符合硬件平台的处理方式,同时完全按照硬件中数据流的流向进行仿真。

定点仿真就是对算法中的每一个数据进行量化,并用规定字长的二进制序列表示这个数,使其更接近实际值。对浮点数据做定点转换的方法有两种:(1)是使用 C 语言实现浮点到定点的转换。(2)是使用 Matlab 中提供的 Simulink 或 Fixed-Point Toolbox<sup>[1]</sup>实现浮点到定点的转换。Simulink 建模不需要编写代码,仅需调用库中的模块,根据数据的流向对算法进行建模,并配置相应的参数即可完成定点仿真;Fixed-Point Toolbox 通过调用定点化函数,对数据重新定义完成定点仿真。

## 2 Matlab 定点工具箱简介

在 Matlab 里,定点工具箱(Fixed-Point Toolbox)是提供定点数据类型和定点算法。在这个工具箱里,可以借助 Matlab 语法设计定点算法,并且可以和 C 代码的执行速度相比拟。同时也可以 Simulink 里重新用这些算法传输定点数据,方便数据的仿真、实现、分析,并且能够为定点软件或者硬件验证提供测试序列。在 Fixed-Point Toolbox 中进行定点仿真的过程,即让数据在 fi 对象下进行工作的过程。

## 2.1 fi 对象

用 fi 函数对数据进行定点处理的过程,实际上就是规定了该数的数据类型,即构造 fi 对象的过程,同时还

收稿日期: 2012-10-30

作者简介: 苏丽(1985—),女,硕士研究生。研究方向: 信号处理的 FPGA 实现。E-mail: sulittle@163.com

可以对该对象进行运算,但这个对象包含有多个属性。

Data: 指明 fi 对象在不同数制形式下的具体值,如: bin(2 进制),data(实数值),dec(10 进制),double(双精度),hex(16 进制)等。

Fimath: 规定 fi 对象如何执行定点运算(截位方式、溢出方式、最大乘积长度等)。当定义 fi 对象的 fimath 属性时,首先要定义一个 fimath 对象,然后再用 fimath 对象定义 fi 对象的 fimath 属性。

## 2.2 fimath 对象

在 fi 对象中已介绍过其对象,现在仅对其相关主要属性如下:

CastBeforeSum: 两个操作数在进行加法之前,是否被映射成和的数据类型。意思是当属性设置为“0”时,两个操作数先进行加法运算,然后对和进行截位;当属性设置为“1”时,则这两个操作数先进行截位,然后再执行加法运算。

RoundMode: 指明数据的截位方式,通常在硬件实现时采取的方法是直接进行截断,一般用 floor。

OverflowMode: 选取溢出的方式。如果存在溢出,则溢出的处理方式通常有两种:(1) saturate 方式。若数据上溢出,则用能表示该范围的最大数来代替该数据;若是下溢出,则用能表示该范围的最小数来代替该数据。(2) wrap 方式。若无符号数溢出,则进位被舍弃;若有符号数溢出,则进位将取代符号位,数据将以二进制补码的形式表示。

## 2.3 fipref 对象

在 fi 对象中已介绍过其对象,其相关属性为:

LoggingMode: 为 fi 对象记录所执行的操作。通常为加、减、乘等操作记录上溢或下溢,并以警告的形式显示出来。若属性设置为“on”,表示启动记录模式,若设置为“off”,则不记录,即不显示,这对于观察结果非常有益。NumericTypeDisplay: 显示 fi 对象的数据类型属性。

## 2.4 numerictype 对象

在 fi 对象中已介绍过其对象,其相关属性如下:

FractionLength: 规定所存储整数值的小数位的长度,用二进制序列表示。Signed: 确定是有符号数据还是无符号数据,默认为有符号数据。WordLength: 规定所存储整数值字长,用二进制序列来表示。

## 3 设计实例

为说明定点仿真在 FPGA 验证中的应用,以数字预失真多项式复数算法为例,使用 Xilinx 的 ISE 开发环境以及 ISE 自带的 ISim<sup>[2]</sup>进行功能仿真。同时,采用 Matlab 的 Fixed-Point Toolbox 进行定点仿真<sup>[3-4]</sup>。图 1 为输出结果的动态范围,可以看出均在要求的范围之内。

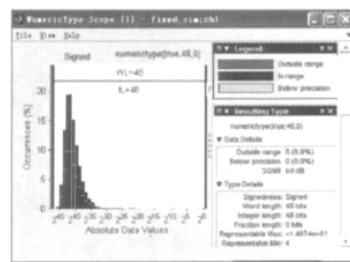


图 1 输出结果动态范围

图 2 为 FPGA 中 ISim 仿真结果,图 3 为 Matlab 定点仿真结果,对比图 2 与图 3 可知,FPGA 输出结果与 Matlab 定点仿真结果一致。为证明此结果的一般性,采样 2 000 个数据,分别画出了 FPGA 输出和 Matlab 输出的波形,如图 4 图 7 所示,其波形基本一致。为进一步证明其完全一致,其误差图如图 8 和图 9 所示<sup>[5-6]</sup>。由此可以证明,FPGA 中的运算结果正确,这个结果对于 FPGA 板级调试是重要的。



图 2 ISim 仿真结果



图 3 Matlab 定点仿真结果

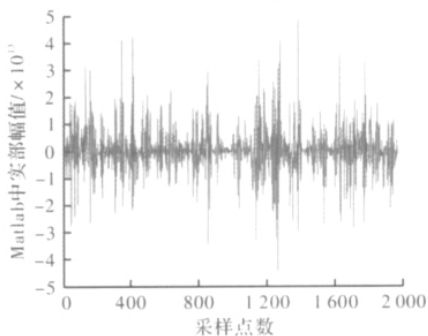


图 4 Matlab 中定点仿真实部

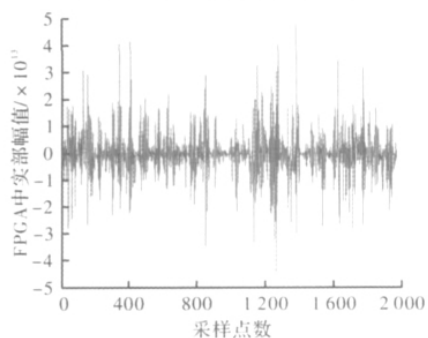


图 5 FPGA 中定点仿真实部

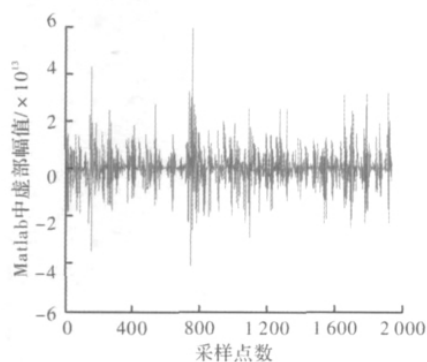


图6 Matlab 中定点仿真虚部

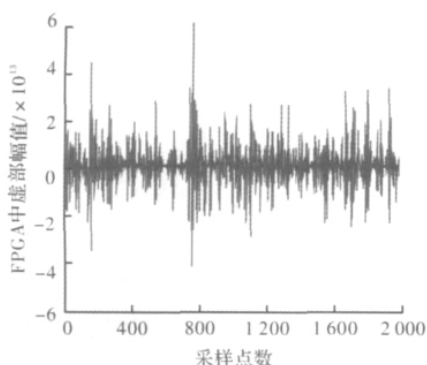


图7 FPGA 中定点仿真虚部

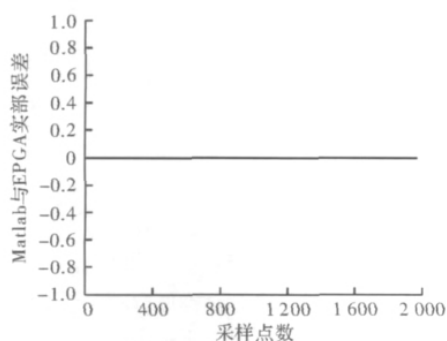


图8 Matlab 与 FPGA 仿真实部误差

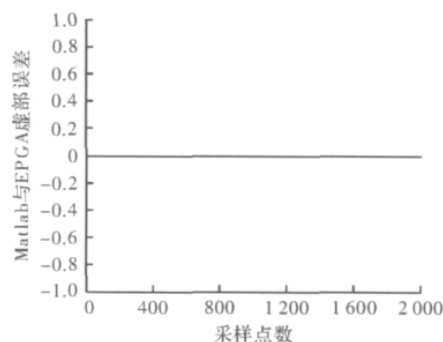


图9 Matlab 与 FPGA 仿真实部误差

#### 4 结束语

运用 Matlab 的 Fixed - Point Toolbox 对浮点算法定点化并完全按照 FPGA 处理数据的方式,不仅是算法在 FPGA 上能否实现的前提,而且还可以验证 FPGA 运算结果的正确性。并且随着算法复杂度的不断提高,定点仿真在 FPGA 尤其是高速 FPGA 中的应用将发挥更大的作用。

#### 参考文献

- [1] Math Works Conpration. Matlab Fixed - point toolbox user's guide [M]. USA: MathWorks Conpration 2009.
- [2] ISim Company. ISim user guide ,UG660( v 12. 3) [M]. Ultra: ISim Company 2010.
- [3] 孙重磊. 基于 FPGA 的 24 点离散傅里叶变换结构设计[J]. 电子科技 2012 25( 9) : 132 - 135.
- [4] 陈大科, 韩九强. 基于 Matlab 的定点 DSP 小波变换程序设计方法[J]. 数据采集与处理 2006( S1) : 164 - 170.
- [5] 崔冕, 王宇. Xilinx ISE 结合 Matlab 对数字系统进行联合设计与仿真方法[J]. 空间电子技术 2007( 3) : 34 - 37.
- [6] TOM H. 基于 FPGA 的 Matlab 算法[J]. 电子测试 2006 ( 5) : 98 - 101.

(上接第 70 页)

表 1 和表 2 的实验结果表明,本文所述斯特林太阳能发电机控制系统的温度采集电路设计在功能上能满足稳定、高精度、高分辨率的温度测量要求,达到了技术指标。

#### 参考文献

- [1] 刘建明, 陈革, 章其初. 碟式斯特林太阳能发电系统最新进展[J]. 中外能源 2011 16( 4) : 36 - 40.
- [2] BONNIE B. 用模拟增益级前端实现  $\Delta - \Sigma$  转换器增益少

量提升的设计方案[J]. 国外电子元器件 2007 14( 9) : 68 - 70.

- [3] 张良春, 何勇. 基于 ARM 的电子送经卷取控制系统设计[J]. 微计算机信息 2006 22( 20) : 151 - 153.
- [4] Analog Device Inc. AD7606 datasheet. 8 - channel DAS with 16 - bit ,bipolar input ,simultaneous sampling ADC [M]. USA: Analog Device Inc 2010.
- [5] 于克泳, 孙建军. 新一代 16 位 8 通道同步采样 ADC - AD7606 在智能电网中的应用[J]. 电子产品世界 2010 , 17( 10) : 63 - 65.