

# 一种面向船联网的“北斗”异步 FIFO 多通道模型

冯国富, 马玉奇, 陈 明, 林何磊

(上海海洋大学 信息学院, 上海 201306)

**摘 要:** 北斗卫星通信已成为我国近海船联网通信系统中主要通信方式之一, 许多情况它是船载信息设备的唯一外部通信接口。为解决多路信息设备与北斗终端信息交互过程中, 无法有效实现数据分配与记忆应答等问题, 提出高速异步 FIFO 多通道通信模型, 基于现场可编程门阵列(FPGA)设计验证所提模型, 经验证及仿真测试表明此通信模型系统性能稳定、可靠且移植性强。基于标志移位码的高速异步 FIFO 多通道通信模型实际应用于基于北斗卫星通信的船联网系统, 有效解决船载信息设备通过北斗终端实现交互通信的问题。

**关键词:** 北斗通信; 船联网; 多通道; 异步 FIFO; 数据分配; 现场可编程门阵列

**中图分类号:** TP302

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2017)02-0001-05

## An Asynchronous FIFO Multi-channel Model with Beidou for Internet of Ships

FENG Guo-fu, MA Yu-qi, CHEN Ming, LIN He-lei

(College of Information, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Beidou satellite navigation system has become the main communication system for internet of ships and usually as the only external communication interface in many cases. In this paper, an asynchronous FIFO multi-channel communication model based on shift code with flag was proposed to solve the problems that the multi-channel data assignments and proper message response when there are multiple access devices inquiry information with Beidou terminal. Furthermore, based on proposed model, the communication model has been implemented on a FPGA chip. The simulation results show that the performance of proposed model is both stable and reliable. The asynchronous FIFO multi-channel communication system model has been applied to internet of ships based on the Beidou, and the result proves that it makes a ship to shore communication between on-ship devices and remote shore-based devices effectively.

**Key words:** beidou communication; internet of ship; multi-channel; asynchronous FIFO; data assignment; field programmable gate array

## 1 引言

在卫星通信系统中, 目前已得到广泛应用的有美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS 和我国自主建设的北斗卫星通信导航系统(BeiDou Navigation Satellite System, BDS)。其中, BDS 以其短报文通信、快速定位、精密授时等功能, 为无公网覆盖的接入设备

提供高效可靠的通信服务, 及定位导航和授时服务, 已逐步成为我国自主发展、独立运行的全球卫星通信与定位系统<sup>[1]</sup>。

北斗通信系统应用的日益成熟拓展了野外及海上作业的通信距离、提高了通信质量, 然而在基于北斗通信系统的船联网中, 船载北斗终端通常是整个网络对外唯一的远程通信端口, 随着更多的信息设

**收稿日期:** 2016-06-15; **修回日期:** 2016-07-22

**基金项目:** 国家“八六三”计划基金项目(2012AA101905); 基于信息化的设施水产生态健康养殖技术及装备系统研发(BE2014333)

备加入到船联网中,越来越多的信息设备需要共享北斗通信终端,如船载实时监控、紧急搜救设备、作业通信系统等。基于渔船的工作环境,研究船载信息设备共享北斗终端实现信息交互具有重要意义。鉴于上述问题,本文提出一种基于标志移位码的高速异步 FIFO(First In First Out)<sup>[2]</sup>多通道通信模型,为单通道系统与多路信息设备进行智能化通信提供一种有效的解决方案。

所提模型可通过多种方法实现,如单片机+汇编/C语言、PC+C语言等,考虑到通信系统的集成度、可靠性、成本及功耗等因素,本文运用 VHDL 语言基于 FPGA 实现验证所提模型,进行仿真测试,测试表明所提通信模型系统性能稳定、可靠,原型系统实际应用于浙江台州渔船作业系统,不仅有效实现了多路船载信息设备与北斗终端的智能化通信,而且提高了船联网北斗通信系统的集成度、可靠性和稳定度。

## 2 基于 FIFO 的 BDS 多通道通信模型

基于 FIFO 的 BDS 多通道通信模型如图 1 所示,其主要由 BDS 系统层、数据处理层与设备接入层构成。

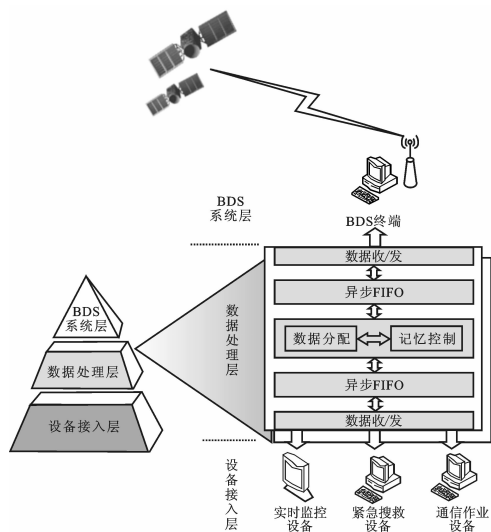


图 1 BDS 多通道通信模型

如图 1 所示,通信模型的 BDS 系统层主要是包括船联网中的北斗卫星通信终端;设备接入层包括与 BDS 建立多通道通信的信息设备;通信模型的核心为基于标志移位码的异步 FIFO 数据处理层,其主要包括数据收/发、异步 FIFO、记忆控制及数据分配四部分。数据处理层主要实现如下功能:(1)数据收/发:接收时,用于对所有通信接口信息的采集,

并将采集的串行数据转变为并行数据送入 FIFO 中;发送时,用于将 FIFO 中相应并行数据取出,并转变为串行数据进行发送;(2)异步 FIFO 对接收/发送的数据信息进行封装与异步读写;(3)记忆控制:当多路信息设备对北斗终端访问时,用于对通信信道的记忆,并在北斗终端进行回复时,控制数据分配实现记忆应答;(4)数据分配:当北斗终端无信息设备单独询问时,为所接入的外围设备统一分配通信数据;当北斗终端出现信息设备单独询问时,根据记忆控制信息为相应的询问设备单独分配通信数据。

## 3 BDS 多通道通信状态机

### 3.1 波特率发生器与数据收/发

波特率发生器是为系统产生准确的时钟信号<sup>[3]</sup>。为保证对每比特数据的采集都在数据传输的中间时刻,在由主频时钟产生采样脉冲时,采用较小分频系数产生高频脉冲信号对数据进行多次采样。如以 16 倍于北斗终端通信的波特率的分频信号作为采样信号,对起始位进行连续 8 次采样,从而有效提高采样数据的准确度。

数据接收即对输入串行数据准确采样后转换为并行数据<sup>[4]</sup>,并把数据传送到相应的异步 FIFO 寄存器。数据发送即在收到发送数据信号时,将异步 FIFO 中存储的并行数据转换为串行数据进行发送。

### 3.2 基于标志移位码的异步 FIFO

异步 FIFO 按照先进先出原则在高速设备与低速设备间起到存储、缓冲数据与传输作用<sup>[5]</sup>。在北斗终端与信息设备通信过程中,其数据多为高速异步传输,因此,系统采用异步 FIFO 实现对接收数据的存储。

实现异步 FIFO 有两大关键性难点<sup>[6]</sup>:亚稳态问题和空/满标志产生问题。传统异步 FIFO<sup>[7]</sup>基于格雷码及多级触发器同步机制解决亚稳态及空/满标志问题,但格雷码编码计数不便,需要进行二进制与格雷码之间的转换,借助于二进制码进行计数,所以实现的关键路径较长,且空/满标志判断也较复杂;基于传统移位码的高速异步 FIFO<sup>[8]</sup>,即以移位码作为读写指针,对于深度为  $n$  的 FIFO,则需要读写指针长度为  $n$ ,传统移位码虽然编码简单,可有效减小亚稳态出现的概率,但码字长度过长,对于深度较大的 FIFO,此方法将浪费过多的芯片面积。

考虑到在船联网通信模型中,船载信息设备访问

北斗终端具有自发性(如船载实时监控系统的定位请求)、突发性(如作业通信系统的短报通信)、间歇性等特点,船载信息设备通信干扰强、通信数据量大,编码逻辑复杂的格雷码与码长过长的传统移位码并不适合于此通信模型. 鉴于此,本文提出基于标志移位码的高速异步 FIFO 设计方法. 假设所设计异步 FIFO 的深度为 8,标志移位码的编码机制如图 2 所示.

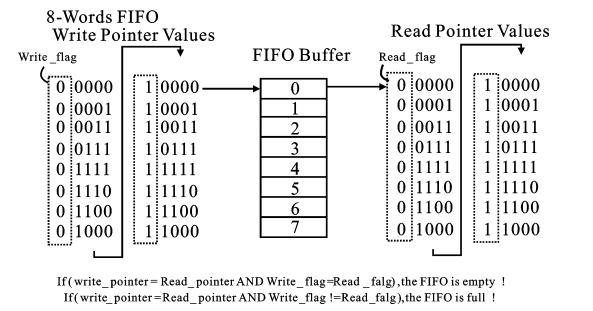


图 2 标志移位码编码机制

由图 2 可知,深度为 8 的 FIFO 需要 4 位地址映射 FIFO 的存储空间,标志移位码的编码规则是:每次左移一位,并将最高位取反移入最低位,另额外添加一位标志位,当读/写指针为“1000”时,标志位取反. 标志移位码不仅保留了传统移位码编码简单的优点,而且在保证相邻指针编码距离为 1 的同时,有效的减小了码字长度,提高了通信的抗干扰能力;同时通过比较读写指针的标志位,方便地产生 FIFO 的空满标志信号.

对于亚稳态问题,除了采用步距为 1 的标志移位码,还以二级触发器作为读写指针的同步机制,大大减小了亚稳态出现的概率.

3.3 记忆控制

为实现多路信息设备共享唯一的北斗终端,要解决的核心问题是如何实现信道记忆控制,即当信息设备发送询问报文时,北斗终端进行相应的报文回复. 如船联网通信系统中,作业通信设备通过北斗终端发送海况询问信息,在实时地将询问报文发送至北斗终端的同时,需对作业通信设备信道信息记忆,以便北斗终端进行相应的报文回复. 记忆控制的状态转移图如图 3 所示.

如图 3 所示,状态 Selecting 即对报文数据的各位数据进行存储并产生询问信道标记信号,此信道记忆信号在数据发送完毕后,向北斗通信终端反馈,并实现回复信息的准确分配.

3.4 数据分配

北斗通信终端无信息设备单独询问时,则将通信信息统一分配至各信息设备;当北斗通信终端有

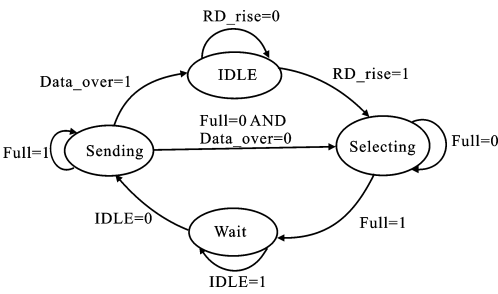


图 3 记忆控制的状态转移图

信息设备单独询问时,则根据反馈的信道记忆控制的反馈信号将回复报文发送至相应设备,实现记忆应答. 数据分配的状态转移图如图 4 所示.

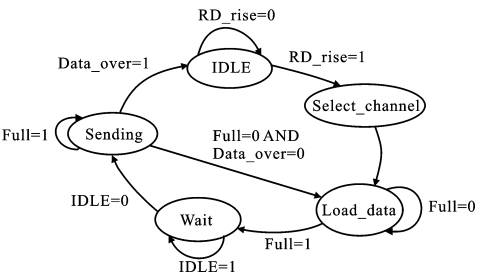


图 4 数据分配的状态转移图

如图 4 所示,状态 Select\_channel 即根据反馈的信道记忆信息选择数据传输信道,当回复报文发送完毕后进入 IDLE 空闲等待状态,并将信道记忆信号复位.

4 BDS 多通道数据处理 IP 核仿真

为验证通信模型系统的可靠性与稳定性,运用 VHDL 实现数据处理的 IP 核,并选用型号为 AlteraCycloneIV EP4C6E22C8N 的 FPGA 作为仿真器件,基于仿真测试软件 Quartus II 对所提模型进行了实验测试.

4.1 基于标志移位码的 FIFO 仿真

在此设基于标志移位码的异步 FIFO 深度为 16,位宽为 8,异步 FIFO 的读写时序仿真图如图 5 所示.

如图 5 所示,深度为 16 的 FIFO,其最大存储地址指针为“1111”. 当写使能有效时,进行对 FIFO 的写入数据操作,直到写指针为“1111”,则产生满信号,同时写指针回到第一个存储单元;当读使能有效时,读取 FIFO 中的数据,在读取数据期间,写使能再次有效,即再次进行写操作,此时只写到地址为“0011”的存储单元,并未写满,故满标志信号依然无效,而读地址指针在为“0011”时,才将 FIFO 中数据完全读空,空标志信号有效.

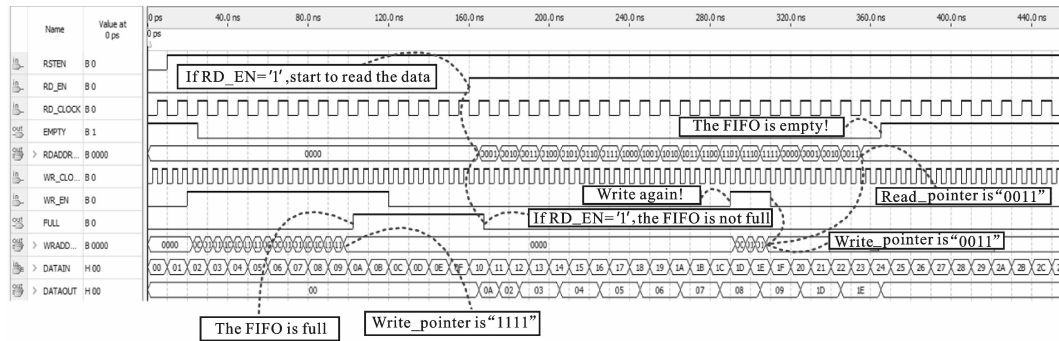


图 5 异步 FIFO 的读写时序图

4.3 记忆控制模型仿真

以两路通道访问北斗终端为模型进行仿真, 根据不同通道的触发信号 WR1 或 WR2, 选择相应的数据作为输出. 当 WR1 有上升沿到来时, 标记该通道 ANSWER="01", DATAIN1 为待发送数据; 当

WR2 有上升沿到来时, 标记该通道 ANSWER="10", DATAIN2 为待发送数据. 由仿真报告知, 其使用 15 个逻辑单元(<1%)和 17 个寄存器(<1%). 仿真波形如图 6 所示.

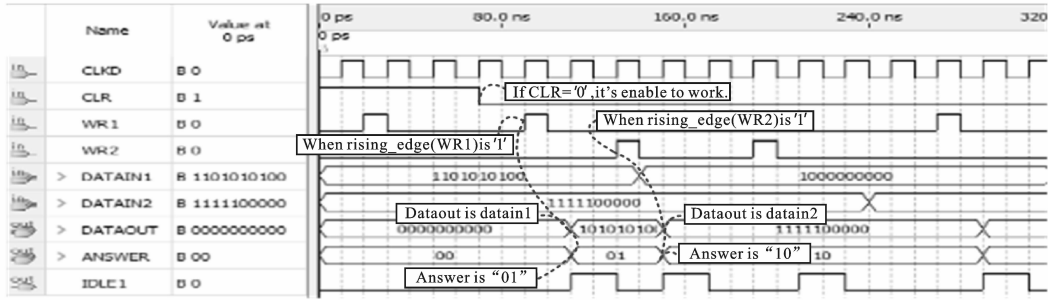


图 6 记忆控制模型仿真波形

4.4 数据分配模型仿真

北斗的回复报文时, 通过反馈的信道记忆信号控制数据分配信息 BACK, 当有写信号 WR 上升沿到来时, 根据不同的 BACK 信号将输入数据 DATA\_IN 分配给不同的输出端 DATA\_OUT1 或 DATA

\_OUT2; 当北斗对相应询问回复完毕后, CLEAR 信号置为高电平对 ANSWER 信号复位. 由仿真报告知, 其使用 70 个逻辑单元(1%)和 57 个寄存器单元(<1%), 仿真波形图如图 7 所示.

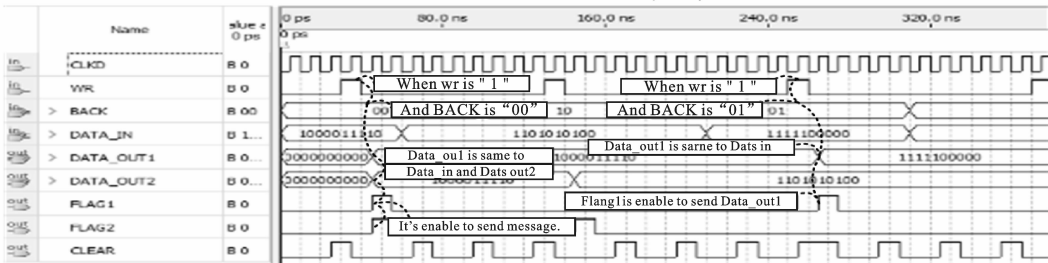


图 7 数据分配模型仿真波形

5 应用

基于北斗卫星通信的浙江台州渔船作业系统中包括驾驶舱视频监控、柴油机实时监控、紧急搜救、

作业通信等, 船载北斗终端通常是船联网与外部的通信接口. 通过使用本文基于异步 FIFO 的多通道通信模型有效地解决了多路接入设备共享北斗终端通信的问题. 原模型在船联网中的实际应用如图 8

所示.



图8 基于模型的船联网应用

## 6 结束语

面向船联网的北斗通信系统,本文提出一种基于标志移位码的高速异步 FIFO 多通道通信模型,一方面采用标志移位码作为 FIFO 的读写指针,并采用二级触发器同步机制有效降低了亚稳态出现的概率,同时简化了编码,缩短了编码码长;另一方面实现了多路接入设备与北斗终端的全双工通信及信息设备与北斗终端之间的记忆应答.基于此模型设计实现的面向船联网北斗卫星通信系统的数据处理 IP 核,不仅在理论上对所提模型进行了仿真实验验证,而且在实际应用中有效地解决了船载多路信息设备与北斗终端的通信问题,同时也证明基于异步 FIFO 设计实现的 IP 核稳定性高、可靠性强.

## 参考文献:

[1] 张昕. 星载 AIS 系统的研究与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.

- [2] 刘炎华, 孙玲, 赖宗声. 一种用于片上网络的异步共享 FIFO 设计[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(7): 159-162.
- [3] Szabo R, Gontean A. The development process of an UART chip on FPGA for driving embedded devices [C]//Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 2015 IEEE 21st International Symposium for. Greece, Halkidiki, IEEE, 2015:175-179.
- [4] 苏航, 薛彦涛. 缓冲区结构效率分析[J]. 计算机工程, 2011, 37(13):20-25.
- [5] 杨剑新, 胡向东, 李媛. 一种分布控制双时钟 FIFO 的设计与实现[J]. 计算机工程与科学, 2013, 35(5): 1-8.
- [6] 周敏. 高速异步 FIFO 的设计和实现[J]. 计算机工程与科学, 2009, 34(2):85-87.
- [7] 于海, 樊晓桢. 基于 FPGA 异步 FIFO 的研究与实现[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(3):210-213.
- [8] 周敏. 高速异步 FIFO 的设计和实现[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(2):85-87.

## 作者简介:

冯国富 男, (1971-), 博士, 副教授. 研究方向为嵌入式物联网技术、高性能计算机系统结构. E-mail: jt\_f@163.com.

马玉奇 男, (1990-), 硕士. 研究方向为高性能计算机系统结构.

陈明 男, (1966-), 博士. 研究方向为数据仓库与数据挖掘、嵌入式系统、传感器技术.

林何磊 男, (1991-), 硕士. 研究方向为高性能计算机系统结构.