

# 基于SPI的双DSP通信协议研究

厦门大学信息科学与技术学院电子信息实验教学示范中心 解永军 许芳 王德清

**【摘要】**提出了改进型SPI (Serial Peripheral interface, 串行外围设备接口) 协议, 在标准SPI协议的基础上, 增加了SPI从机主动发起通信的功能, 并能指示数据/指令传输, 设计了可靠的“帧”格式, 帧带有序号和CRC校验, 具有完善的出错重传机制。基于该SPI接口协议, 设计了TMS320DM642和TMS320C6747之间的SPI通信接口, 给出了接口电路设计和工作流程, 并应用到课题组设计的水声通信机中。

**【关键词】**SPI协议; 双DSP通信; TMS320DM642; TMS320C6747

## 1. 引言

在水声通信机的设计中, 经常是由一个处理器进行唤醒检测、AGC (自动增益控制)、A/D (模拟-数字转换)、D/A (数字-模拟转换) 等工作。另外一个处理器负责信号调制、解调、纠错编码/解码等复杂计算。在我们的水声通信机设计中, 前端采用低功耗的TMS320C6747浮点DSP, 进行数据预处理; 后端采用高性能的TMS320DM642定点DSP, 进行复杂计算。这就需要双DSP分工协作, 共同完成系统整机的功能。不可避免的, 将涉及到双DSP之间大量的指令和数据交互操作。我们希望采用灵活的架构, 简洁的接口连线, 简单的控制协议, 实现高可靠和高效率的指令与数据双向传输, 通过大量的实验, 我们最终选择了SPI协议, 并对典型的SPI协议进行了改进。典型的水声通信机的架构如图1所示。

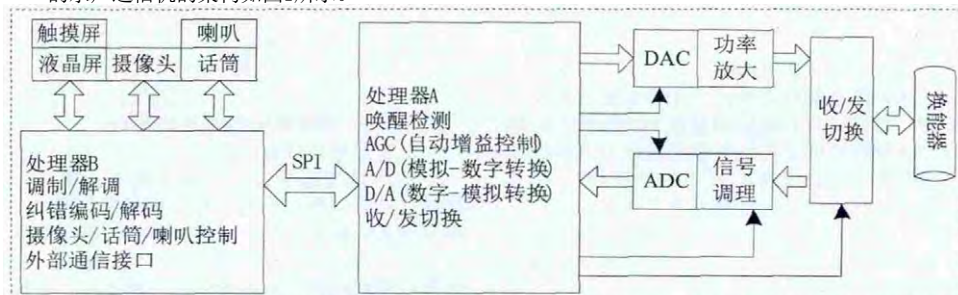


图1 典型水声通信机的架构

在我们的设计中, “处理器A”选用了低功耗的TMS320C6747浮点DSP, “处理器B”选用了高性能的TMS320DM642定点DSP。在实际系统中, 根据水声通信机的不同工作频段和运算能力要求, 处理器A也可选择FPGA/CPLD或者低功耗单片机; 处理器B也可选择不同运算能力的DSP、ARM或者FPGA。

## 2. SPI协议

SPI (Serial Peripheral Interface, 串行外围设备接口) 是Motorola公司于2000年提出的一种串行接口协议。该接口占用硬件资源少, 通信协议简单, 具有同步时钟, 通信速率较高, 分主设备和从设备, 特别适合处理器与外围设备之间交换数据, 在EEPROM (非易失存储器)、串行A/D (模拟-数字转换器)、串行D/A (数字-模拟转换器)、实时时钟等嵌入式系统中得到了广泛的应用。

SPI协议的原理很简单, 它以主从方式工作, 这种模式需要有一个主设备和一个或多个从设备。典型的SPI协议定义了4线接口, 这也是所有基于SPI的设备共有的, 分别是SIMO (从机输入、主机输出), SOMI (从机输出、主机输入), SCK (时钟) 和CS (片选)。根据系统的不同需求, SPI接口也可以采用3线 (数据单向传输) 或5线等不同方式, 以实现不同的功能。采用4线制SPI接口时, 接口示意图如图2所示。

从图2可知, 所有的控制信号均由SPI主设备提供, SPI从设备只能在被查询时才能与主设备建立通信。这种限制在处理器与外围设备通信时影响不大, 但应用在双处理器对等双向通信时就有问题, 作为从机的处理器无法主动发起通信, 与主机交换数据。

在我们设计的水声通信机中, 双DSP之间需要对等双向通信, 无论哪一方都能发起通信, 因此需要对典型的SPI通信协议进行修改, 使得从机也能主动发起通信。这需要修改硬件接口设计, 增加额外的信号线来实现。

SPI协议没有定义握手机制, 在进行双向高速率的可靠通信时, 需要从硬件和软件两方面设计握手机制。同时, SPI协议也没有定义“指令”和“数据”传输标识, 需要由软件来解析。为了解决上述问题, 我们对SPI通信接口进行了改进, 主要包括硬件接口设计和软件协议设计两部分。

## 3. 系统硬件接口设计

硬件接口方面, 在标准4线SPI协议的基础上, 增加ENAn、RSm和RSs三根控制线, 分别代表从机请求主机通信、主机发给从机指令/数据指示、从机发给主机指令/数据指示。其控制思路如下:

当TMS320C6747 (SPI主机) 有指令/数据发给TMS320DM642 (SPI从机) 时, 先设置RSm为某电平 (约定高电平代表指令, 低电平代表数据), 然后发起通信, DM642的SPI模块配置位从动模式, 其底层硬件逻辑将自动检测接收, 并通知DM642进行后续接收/发送处理。

ENAn信号线平时为低电平, 当DM642有指令/数据要传递给C6747时, 先设置RSs电平 (指示将指令/数据传输), 然后设置ENAn信号线为高电平, C6747检测到ENAn信号线电平的变化时, 主动发起与DM642的通信。

我们设计的改进型SPI接口示意图如图3所示, 图3中左侧虚线框内的部分为TMS320DM642芯片内集成的McBSP0接口, 配置为4线SPI从动工作模式; 图3中右侧虚线框内的部分为TMS320C6747芯片内集成的SPI1接口, 配置为4线SPI主控模式, 其中SPI1\_ENAn由GPIO引脚控制。

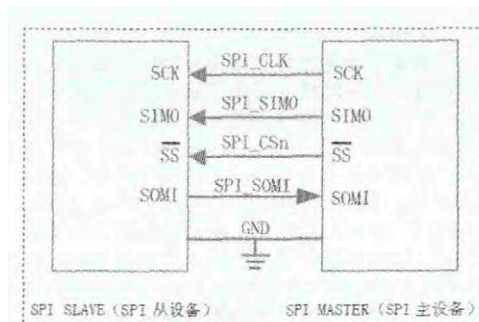


图2 典型的4线制SPI接口连接图

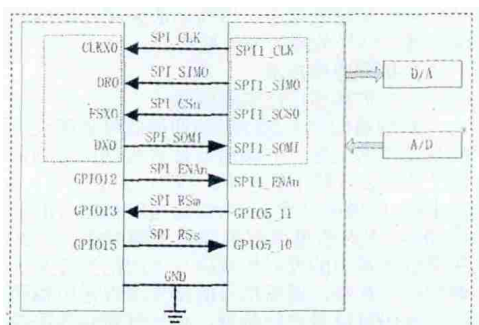


图3 TMS320DM642 (SPI从) ; TMS320C6747 (SPI主)

经过如此改进之后, TMS320C6747 (主机) 和TMS320DM642 (从机) 之间能进行高速率的全双工数据与指令的交互。

## 4. 系统软件设计

硬件接口设计为实现SPI高速率传输创造了通道, 但难以保证数据传输的可靠性和有效性。为此, 我们设计了SPI主机 (TMS320C6747) 和SPI从机 (TMS320DM642) 通信的软件协议。

为了能进行指令和大容量数据传输, 并且易于对接收到的SPI数据进行实时解析, 为“指令”和“数据”设计了不同的“帧”结构。

进行指令传输时, 固定每个数据包的长度, 由“0x55AA”指示一个指令帧的开始, 之后跟着帧序号, 每次成功传输一帧后, 帧序号增1, 接下来是本机在前次握手通信时收到的帧序号, 方便对方据此判断前次指令是否被成功接收。

序号之后是20个指令字, 最后是CRC校验字段, 接收端对前23个字进行CRC校验, 如果与接收到的CRC不同, 则重新请求该指令序号; 如果与接收到的CRC相同, 则解析该指令。如果接收端收到的帧序号不连续, 则表明两个序号之间的部分指令出错, 根据需要可请求重发; 如接收端收到的对方“已接收序号”和之前发送的不同, 也能识别出通信出错。

在进行数据帧传输时, 由“0x55A5”指示一个数据帧的开始, 在帧序号之后是数据区的长度, 接下来是数据区, 最后是CRC校验。指令帧和数据帧的序号分别编号, 与传输“指令帧”同样的机制, 如果CRC出错也可以请求重传。连续的数据区便于接收端和发送端启用EDMA模式, 极大提高传输大量数据的效率。

# 基于FPGA的通信信号处理的设计

军械工程学院 许庆

**【摘要】**和传统的通信信号处理技术相比，FPGA技术具有更多的优点。基于FPGA的通信信号处理设计主要依靠扩频通信技术为支撑，它具有保密和抗干扰性能强、抗衰落能力强、多址通信的优点。通信信号处理的设计中主要包括信号采集板和信号处理板的设计，文章也针对这信号采集板的电路结构和信号处理板的硬件结构做简要叙述。

**【关键词】**FPGA技术；通信信号处理；扩频通信技术

## 0. 引言

通信信号的处理是指将传统信号数字化，在对数字化信号进行采集变换等方式处理后，最终将传统信号转化为符合需求的信号形式。虽然不同的应用场合的数字处理设备大有不同，总的来可以分为DSP以及FPGA两种。FPGA是英文Field Programmable Gate Array（现场可编程门阵列）的缩写，随着FPGA技术的不断发展，FPGA通信信号处理技术可以很好的解决DSP技术存在的运行规模小、运行速度慢的缺陷。而且FPGA还具有便于系统集成和扩展的优势，越来越多信号处理工程师将FPGA应用于通信信号的实时处理中，该技术的应用已经成为未来通信信号处理的发展趋势。

## 1. 扩频通信技术

### 1.1 扩频通信技术的概述

扩频通信技术是FPGA的通信信号处理设计的主要技术支撑。扩频通信技术的理论基础来源于香农公式抗干扰理论 $C=W \log_2(1+S/N)$  b/s 其中W为信道的宽度，S为信道内所传信号的平均功率，N为信道内部的高斯噪声功率<sup>[1]</sup>。扩频通信技术中的发射扩频信号占用的宽带大于调制信号宽带，通信信号的接受端也采用相同的扩频码对信号进行解调，将信号转化为所传输的信息。

常见的扩频系统有DSSS系统、跳时扩频系统、FHSS系统等等<sup>[2]</sup>。扩频信息技术具有众多的优点，该技术在军用和民用领域都有广泛的应用。

### 1.2 扩频通信技术的优势

#### 1.2.1 保密和抗干扰性能强

通信信号经扩频技术处理后，其功率谱密度特性会发生变化，并和噪音类似，可以很好的实现一些信号对“隐蔽”的需求<sup>[3]</sup>。而且扩频技术处理后，生成的扩频序列具有一定的未知性，通信信号被他人截获和窃听的可能性降低，通信信号的安全性、保密性更好；通信信号经扩频技术处理后，通信信号可以在更宽

的宽带中传输，干扰信号也会处于更宽的宽带中，可以有效的降低干扰信号的干扰功率，扩频信号和噪声的功率比值也会增加，通信信号的抗干扰能力也随之提高。

#### 1.2.2 抗衰落能力强

由于扩频信号需要占据更宽的宽带，及时扩频信号出现衰落的情况，也只对小部分扩频信号产生影响，大部分扩频信号依旧处于正常的传输状态，对整个频带内的扩频信号影响有限，因而扩频通信技术具有较强的康衰弱能力。

#### 1.2.3 多址通信

不同的扩频码之间的几乎不存在互相关的特性，它们只具有较好的自相关的特性。扩频码的这种特性可以实现扩频通信在不同的扩频序列中使用，形成形式不同的通信网络。在不同的通信网络中，无论频带上存在多少用户，用户之间的通信也不会存在干扰情况发生，很好的实现多址通信的目的，同时也减少了频带资源的使用和浪费。

## 2. 通信信号处理系统设计

### 2.1 信号采集板的设计

信号采集板的主要功能为将接受的信号通过一定技术采样，将信号转换为数字信号，将所采集的数字信号通过一定的技术手段发送至信号处理板上<sup>[4]</sup>。通信信号采集板的电路原理如下图。本次设计采用的放大器为具有较高放大性能的OPA690。当外界模拟信号经放大滤波处理后由A/D芯片将模拟信号转换为数字信号，并输入至FPGA的开发板DE2。四角有源晶振作为系统时钟晶振，比采用内部振荡器的DSP设计更加简便。而且采集的信号质量更高，树池的信号也更加稳定。和方波信号相比，其输出信号的占空比也更低，只为方波信号的50%左右。电源端施加电压的大小决定了信号的幅度。信号采集板对采用的为A/D芯片，这种芯片对电源输入端的电压的要求极为严格，必须稳定在5V左右<sup>[5]</sup>。

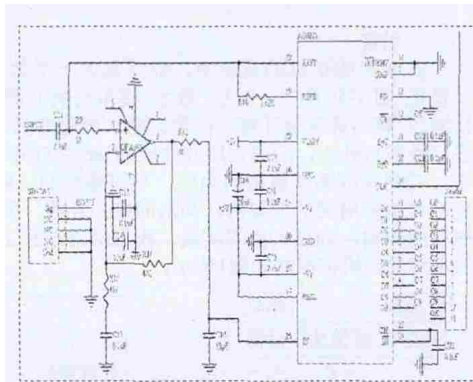


图1 高速信号采集板电路图设计

### 2.2 信号处理板的设计

信号处理板的功能主要有两个，第一，将经过扩频调制以后的信号向外传送；第二，将信号采集板采集的信号进行解调、脉压等操作处理，将扩频处理的通信信息进行恢复。在信息处理板的硬件结构由FPGA控制芯片、时钟芯片、DAC芯片以及光路收发器这几个主要的部分组成<sup>[6]</sup>。具体的信号处理板硬件结构图如下。

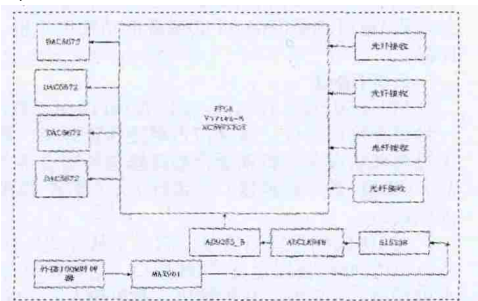


图2 信号处理板硬件结构图

## 3. 结语

文章知识对FPGA技术的优势以及FPGA通信信号处理的设计做简要的介绍，和传统单片

构建的“帧”结构如下表所示。

“指令”帧格式：

0x55AA	序号	已接收序号	指令1	指令2 ……	指令20	CRC
--------	----	-------	-----	--------	------	-----

“数据”帧格式：

0x55A5	序号	数据长度	数据 ……	CRC
--------	----	------	-------	-----

采用上述协议后，有效地保障了SPI主机和从机之间双向、可靠、高速、稳定的指令和数据传输。

## 5. 结论

在我们设计的水声通信机中，采用了上述改进型SPI接口协议，TMS320C6747和TMS320DM642最小系统板之间以SPI接口进行板间连接，采用非屏蔽杜邦排线，长度大约10cm，实际测试表明，SPI时钟速率在8.6 MHz时可稳定进行指令和数据的全双工通信。由于通过SPI接口传输一个字节最少需要8个时钟，加上发送端准备数据、接收端解析并处理数据的开销等，实际测试能以800kB/s稳定通信。

## 参考文献

[1]http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/tms320c6747.pdf  
 [2]http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/tms320dm642.pdf  
 [3]张岩,马旭东,张云帆.ARM与DSP的SPI通信设计实现[J].工业控制计算机,2008,21(9):56-57.  
 [4]高振,罗秋凤.SPI接口与CRC算法在双DSP数据通信中的应用[J].电子产品世界,2011(1-2):46-48.  
 [5]梁德坚,刘玉琼.SPI总线数据远距离传输实现[J].电子测试,2009(1):72-75.

[6]赵斌,张楚.多媒体处理器中的SPI接口设计[J].电子技术,2007(6):126-129.

[7]任宇飞,张相,程乃平.一种透明传输的双向SPI接口的设计与实现[J].电视技术,2009,49(2):51-54.

基金项目：福建省自然科学基金（项目编号：2013J01253）；中央高校基本科研业务费专项资金资助（项目编号：2010121062）；国家自然科学基金（项目编号：61301098）资助。

## 作者简介：

解永军（1978—），男，工程师，主要研究方向：单片机与嵌入式系统，水声通信技术。  
 许芳【通信作者】（1971—），女，高级工程师，主要研究方向：水声通信网络物理层技术，无线多载波通信技术，通信系统接收端信号处理技术。  
 王德清（1979—），男，助理教授，主要研究方向：水声通信，水声网络，智能电子系统。