

CCSLink 辅助下 OFDM 系统的 DSP 实现

张敬燕, 李有明*

(宁波大学 通信技术研究所, 浙江宁波 315211)

摘要: 针对正交频分复用系统, 为减小算法实现过程调试的复杂度, 提出利用 MATLAB Link for Code Composer Studio 辅助 TMS320C6713 DSP 实现 OFDM 系统方法. 新方法通过创建 MATLAB 与 CCS 集成开发环境的连接对象, 在 MATLAB 环境下控制 CCS 加载和运行工程文件, 最后得到经 OFDM 技术调制解调后的信号. 仿真结果验证了新方法的可行性和 OFDM C 程序的正确性, 通过 CCSLink 可降低 DSP 算法程序开发的复杂度、缩短开发周期.

关键词: 正交频分复用系统; CCS; TMS320C6713 DSP; CCS IDE

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2011) 03-0034-04

随着“三网合一”的推行, 如何突破接入网的带宽“瓶颈”, 以提供高质量的数据、视频、语音、移动接入以及各种增值业务等信息的一网化传输, 并满足用户多样化、个性化的网络需求已成为当今网络发展的主要趋势. 正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)技术具有较高的频谱利用率, 能将含大量信息的多媒体业务通过宽频道高品质地传输出去, 满足当前通信的需求. OFDM 技术自发展以来, 在基础理论方面已趋于成熟, 但其具体实现时, 如何降低通信系统的成本, 使之更广泛地应用于数字传输系统中, 已成为 OFDM 技术的研究热点之一.

传统 OFDM 系统开发过程一般分为设计仿真和具体实现两个部分. 开发设计部分完成系统整体方案规划及算法设计, 并利用仿真工具进行仿真验证, 当仿真结果满足系统要求时, 再进入产品实现阶段^[1]. MATLAB 由于其强大的分析、计算和可视化能力, 很适于进行仿真, 因此常用于第一部分. 数字信号处理(Digital Signal Processor, DSP)是指一类具有专门为完成数字信号处理任务而优化的系统体系结构, 具有实时性和快速性两大特点^[2], 很适于第二部分的系统开发. 但在利用 MATLAB 和 DSP 进行系统开发过程中, 由于它们的开发环

境 CCS(Code Composer Studio)在编程语言等方面的差异, 以及两者代码之间的精度和不兼容问题可能导致系统仿真和具体实现之间的结果偏差, 不利于系统整体调试. 因此如何验证系统的合理性, 并加快系统的开发进度成为目前 OFDM 系统开发所需解决的问题之一.

MALTAB Link for Code Composer Studio(简称 CCSLink)是 MathWorks 公司和 TI 公司联合开发的硬件目标连接工具, 用于连接 MATLAB、TI 开发环境 CCS 及 DSP 目标板. 由于它能使开发者在 MATLAB 环境下对 CCS 和硬件目标进行操作, 并且满足当前设计和实现需要, 因此本系统在开发时充分利用 CCSLink 同时进行系统的设计和仿真. 由于 OFDM 系统包括大量复杂度较高的信号处理算法, 对器件运算量和处理精度要求比较高, 因此系统选用 TI 公司的 TMS320C6713 浮点 DSP 作为主处理器来进行 OFDM 技术的算法仿真.

1 CCSLink 辅助 DSP 的原理与方法

CCSLink 提供 3 种方式实现 MATLAB 与 CCS 和目标板的数据交换^[3]: 使用与 CCS 集成开发环境(IDE)的连接对象、使用与 RTDX(Real-Time Data Exchange)的连接对象、使用嵌入式对象. 图 1 为

收稿日期: 2010-09-07.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目: 国家自然科学基金(61071119, 60772126); 浙江省自然科学基金(Y1091155); 浙江省科技厅科研项目(2009C34001).

第一作者: 张敬燕(1986-), 女, 浙江东阳人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 多载波通信同步技术. E-mail: lilucysky@163.com

*通讯作者: 李有明(1963-), 男, 陕西扶风人, 博导/教授, 主要研究方向: 宽带接入技术. E-mail: liyouming@nbu.edu.cn

MATLAB、CCSLink 和 DSP 目标板的连接关系。下面以 MATLAB 与 CCS IDE 的连接对象操作为例来阐述 CCSLink 的工作原理^[5]。

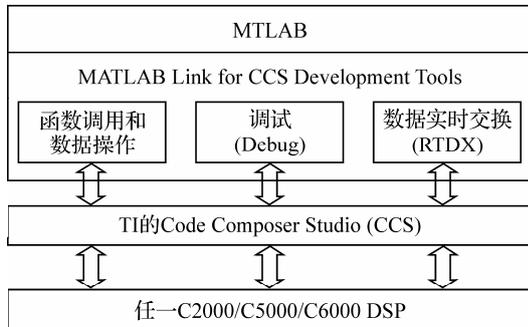


图1 MATLAB、CCSLink 和 DSP 目标板的连接关系

(1) 创建 MATLAB 与 CCS IDE 的连接对象。

```
cc=ccsdsp('boardnum', x, 'procnum', y,
'timeout', z);
```

其中, boardnum、procnum、timeout 为属性名, 分别表示创建连接对象时所使用的目标板号、DSP 处理器编号及全局超时时间, 这些 x, y 参数的值可通过 MATLAB 中的 ccsboardinfo 命令得到, z 为超时时间, 由用户自己定义。

(2) 利用 MATLAB 将工程文件加载到 CCS IDE 中。

```
projfile=fullfile(matlabroot, 'toolbox', 'tiddk',
... , 'ccsproject.pjt');
projpath=fileparts(projfile);
open(cc, projpath);
cd(cc, projfile);
```

利用 fullfile 和 fileparts 函数获取工程文件路径, fullfile 函数的参数为工程文件路径, 再利用 cd 和 open 命令分别设定 CCS 工作路径为 projpath 指定的路径和加载该路径下的 ccsproject.pjt 工程文件。

(3) 在 MATLAB 环境下编译连接、下载可执行文件并运行程序。

```
build(cc);
load(cc, 'ccsproject.pjt');
run(cc, 'runtohalt', timeout);
```

通过 build 命令编译、链接工程文件, 生成可执行文件, 利用 load 命令下载可执行文件到目标 DSP, 再利用 run 运行 DSP 程序, 此处的 run 函数设定为运行至中断处, 用户也可根据需要设定 run 函数中的参数。

(4) 在 MATLAB 环境下对 CCS IDE 连接对象进行操作。

在程序调试过程中, 通常需要在程序某处插入断点以读取或写入信息。在 MATLAB 中, 通过 Insert 命令在 CCS 工程文件中插入断点, 如利用 Insert(cc, 'filename.c', line, 'break') 语句在 CCS 工程文件下 filename.c 文件的 line 行插入断点。

当需要访问嵌入在目标程序中的存储器时, 可以用 read(cc, address(cc, 'ddat'), 'double', num) 语句从 DSP 目标存储器 ddat 指向的存储空间中连续读取 num 个双精度数, 再返回给 MATLAB 中定义的变量。

当需要向目标存储器写数据时, 可以用 write(cc, address(cc, 'indata'), int16(inputdat)) 语句将 MATLAB 中变量 inputdat 的数据转换为 16 位有符号的整形数据, 并存入 DSP 目标存储器 indata 指向的存储空间。

需要注意的是, MATLAB 读取或写入 DSP 存储空间的数据格式根据程序需要用户自行设定。

(5) 关闭 CCS 连接对象。

```
clear cc;
```

程序结束时, 通过 clear cc 语句释放 MATLAB 与 CCS IDE 的连接对象以收回系统资源。

2 OFDM 调制原理

OFDM 是直接利用傅里叶变换实现的一种多载波调制技术, 采用并行传输, 将所传输的高速率信息数据经过串/并变换, 分割为若干低速的数据流, 然后每路低速数据流采用独立的载波调制并迭在一起构成发送信号。在接收端用同样数量的载波对发送信号进行相干接收, 以获得低速数据, 再通过并/串变换得到原来的高速信号。在形成发送信号时, 若在码元之间增加一定长度的保护间隔, 则多径传输引起的码间串扰基本被消除^[4]。

3 OFDM 系统的设计实现

3.1 发送信号的产生

采用 OFDM 调制技术的 DSP 系统是个比较复杂的系统。利用 CCSLink 辅助 DSP 实现 OFDM 系统的第一步是在 MATLAB 环境下产生并发送信号。实际系统中, DSP 接收的一般为 16 位整形数据, 因

此,首先在 MATLAB 环境下生成 1 帧发送信号所需的发送数据,再利用 CCSLink 工具将该数据写入 DSP 输入缓冲区进行处理.

3.2 OFDM 调制解调的实现

利用 CCSLink 设计 DSP 系统的第二步是在 CCS 环境中进行 OFDM 调制解调程序的设计.

将 MATLAB 生成的 1 帧信号存入 DSP 的输入缓冲区,按照设计编出 DSP 程序. OFDM 调制解调工作流程如下: DSP 接收来自 MATLAB 的数据,并存入调制输入缓冲区中,当接收完 1 帧数据所需的信息量后,将调制输入缓存区处的数据进行 4QAM 调制,再送入 IFFT 单元将数据变到时域进行处理,最后给数据加上循环前缀并存到 DSP 的 OFDM 调制输出缓冲区. 当 1 帧数据调制完成后,将 OFDM 调制缓冲区的数据送给 MATLAB,由 MATLAB 加入信道信息,并将模拟的接收数据送给 DSP 的解调输入缓冲区中,以用于解调. 在进行 OFDM 解调时,先将接收到的数据移走循环前缀,送入 FFT 单元将数据还原到频域,最后进行 QAM 解调得到最初的原始数据. 图 2 即为 OFDM 调制解调子程序.

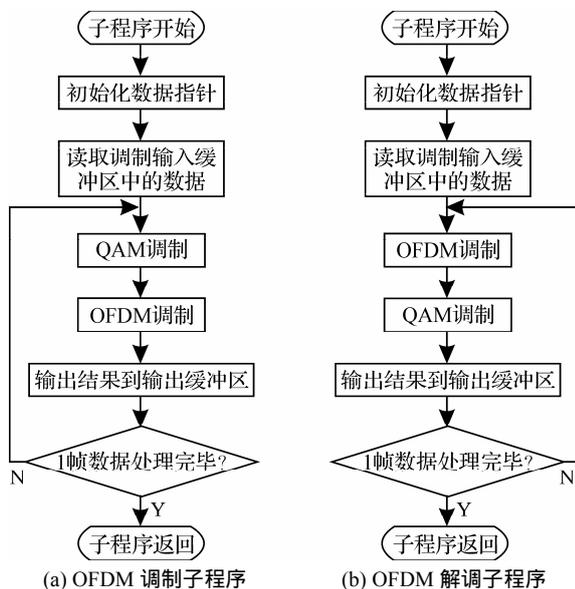


图 2 OFDM 调制解调子程序

OFDM 系统设计过程中,利用了部分 TI 提供的数字信号处理库(DSP LIB)^[6]中的库函数来加速代码的执行速度,缩短运行时间. 如 OFDM 调制/解调所需 IFFT/FFT 操作是利用 DSPF_sp_icfft2_dif 和 DSPF_sp_cfft2_dit 来实现. 同时为了提高数

据搬移的速度,节省不必要的开销,利用 C 语言库函数 memset 和 memcpy 来完成数据初始化和数据拷贝等功能的循环结构.

3.3 OFDM 仿真系统的实现

利用 CCSLink 设计 DSP 系统的最后一步是在 MATLAB 环境下,借助 CCSLink 提供的与 CCS IDE 的连接对象启动 CCS 装载,并运行 DSP 程序. 利用 CCSLink 提供的嵌入式对象,在 MATLAB 环境下,更新 DSP 中调制输入缓冲区中的数据进行 OFDM 调制, MATLAB 读取调制缓冲区的数据并加入信道信息后,将数据写入 DSP,用于进一步的 OFDM 解调. 系统总体流程图如图 3 所示.

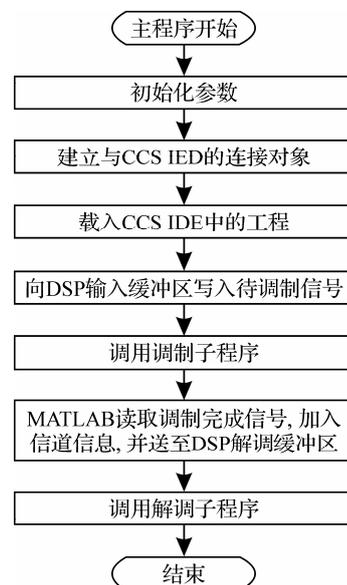


图 3 系统总体流程图

4 结果分析

系统设计参数如下:子载波数 $N = 256$, 循环前缀长度 $L = 32$, 1 帧中的 OFDM 符号数 $M = 4$. 在实际系统中, DSP 接收的一般为 16 位整形数据,因此系统中用于调制的数为 MATLAB 产生的随机整数序列,取值范围在 $[-32\ 768, 32\ 767]$. 系统采用 4QAM 对信源进行编码映射,已知输入数据为 16 位整形数据,每 1 个输入数据都可映射成 8 个经 4QAM 调制的数,存储后用于 IFFT 变换. 因此,输入的每 32 个 16 位整形数据可完成 1 个 OFDM 调制,设计的系统每帧传送 16 位整形数据有 $32 \times 16 = 128$ 个,有效比特数: $M \times 32 \times 16 = 4 \times 32 \times 16 = 1\ 028$ bit.

程序运行后, 在 CCS 中可观察到 DSP 调制输入缓冲区中初始信号的波形如图 4 所示, 为 128 个 16 位整形数据, 取值范围在 $[-32\ 768, 32\ 767]$ 。

经 OFDM 调制后 DSP 调制输出缓冲区中信号的幅度波形如图 5 所示。根据参数设定值可知, 1 个完整 OFDM 符号的长度为 $N + L = 256 + 32 = 288$, 由于 4QAM 调制和 IFFT 后的数据为复数, 选用实部和虚部分别存储, 因此每个复数所占的存储空间为 2 个, 即 1 帧数据所需的存储空间数为 $M \times (N + L) \times 2 = 4 \times (256 + 32) \times 2 = 2\ 304$ 。图 5 中上半部分和下半部分分别为 OFDM 调制后的实部信息和虚部信息, 各占 $2\ 304 / 2 = 1\ 152$ 个存储空间。

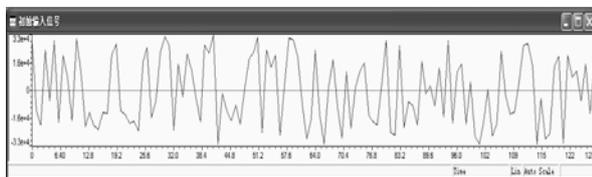


图 4 初始输入信号

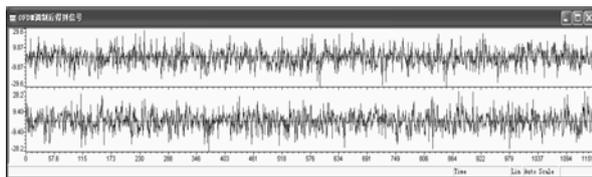


图 5 OFDM 调制后得到信号

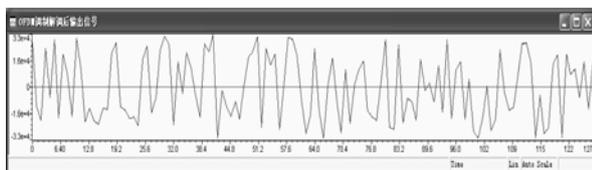


图 6 OFDM 调制解调后输出信号

图 6 为 OFDM 解调缓冲区中信号的波形。观察图 4 和图 6 可得, 输入和输出基本一致, 证明利用 C 语言编的 OFDM 算法程序正确。

5 结语

在分析 OFDM 技术原理基础上, 提出利用 CCSLink 辅助 DSP 实现 OFDM 系统的方法。针对 MATLAB 和 DSP 的特性, 探索了整个系统的开发过程并对该方法做了详细阐述, 并完成了对该系统的仿真实验, 给出了关键的测试结果。结果表明利用 MATLAB 辅助开发 DSP 系统可发挥两者的优势, 缩短开发周期, 降低开发门槛, 优化开发过程。

参考文献:

- [1] 胡晓磊, 喻俊志. 基于 CCSLink 的两栖机器人伺服系统级开发[J]. 微计算机信息, 2009, 25(9-2):154-156.
- [2] 邹彦, 唐冬, 宁志刚, 等. DSP 原理及应用[M]. 4 版. 北京: 电子工业出版社, 2006:1-7.
- [3] 李真芳, 苏涛, 黄小宇. DSP 程序开发: MATLAB 调试及直接代码生成[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003:45-47.
- [4] 赵文桐, 吴玉成, 宋文宁, 等. 基于 DSP 的 OFDM 系统设计[J]. 微计算机信息, 2006, 22(11-2):162-164.
- [5] 段国强, 陈月云. MATLAB 辅助 DSP 设计的研究与实现[J]. 微计算机信息, 2007, 23(7-2):130-132.
- [6] Texas Instruments. TMS320C67x DSP library programmer's reference guide[EB/OL]. [2003-06-11]. http://www.s3.kth.se/signal/project_course/2005/yellow/docs/TI_User_Guides_for_DSP/spru657.pdf.

CCSLink Assisted DSP Implementation of OFDM System

ZHANG Jing-yan, LI You-ming*

(Institute of Communication Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: To reduce the complexity in implementation process for OFDM system, CCSLink assisted TMS320C6713 DSP for implementation method is proposed in this paper. By creating the connection object between MATLAB and CCS integrated development environment, and controlling CCS load, as well as running the project file in MATLAB environment, the new method can correctly generate the OFDM modulation signal. Simulation results verify the feasibility of the proposed method and the efficiency of the C code. With CCSLink assisted, the complexity in DSP implementation can thus be reduced and the development cycle can also be shortened.

Key words: OFDM; CCSLink; TMS320C6713 DSP; CCS IDE

(责任编辑 章践立)