

基于 DSP6711 的 OFDM 技术编解码实现

王德清, 许 茹, 梁春丽

(厦门大学电子工程系, 福建 厦门 361005)

摘 要: 基于浮点数字信号处理芯片 DSP6711, 采用软件无线电方法构建一个基本的 OFDM 通信系统。在用 MATLAB 语言对该通信系统进行仿真的基础上, 完成了 CCS2.1 软件平台上的由 DSP 硬件组成的 OFDM 系统 C 语言编程和运行通过; 并利用 Matlab 所建立的仿真信道对此 OFDM 系统的编解码性能进行了测试。结果表明, 论文所建立的编解码实现方案对高斯衰落信道具有一定的对抗性。

关键词: 正交频分复用 (OFDM); 浮点 DSP; 软件无线电; 高斯信道

中图分类号: TN 91 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-2029 (2005) 02-0042-04

1 引言

水声信道高速率数据传输, 是水下通信技术的前沿热点研究课题之一, 是水声技术的主要部分。水声信道是一个典型的时变多径衰落信道, 通常的无线陆地信道的通信系统中, 多径扩展只有几个码元大小, 而在水声信道中水平方向的多径扩展增加到几十个码元, 因而多径码间干扰就成为水下通信系统的一个亟待解决的问题。

OFDM 是一种无线环境下的高速传输技术, 其主要思想是将整个频带分割成多个正交子信道, 将待传输的高速串行码流并行地调制在多个窄带子信道载波上, 尽管总的信道是非平坦的, 具有高度的频率选择性, 但是各个子信道是相对平坦的, 并且在各个子信道上进行的是窄带传输, 信号带宽小于信道的相关带宽, 可以大大消除多径时延造成的幅度衰落和码间干扰, 适合在多途径环境和衰落信道中进行高速数据传输。OFDM 系统还可以进一步采用纠错编码提供的信息冗余来恢复因干扰而丢失的数据, 以解决多径造成的幅度衰落问题。

本文重点介绍 OFDM 技术基于 DSP 器件实现的可行性。此种技术是否能在水声信道的高速率数据传输中发挥出上述无线环境下的同样优越性也是本文研究工作中所要解决的中心问题。

2 OFDM 的基本原理

正交频分复用 (OFDM) 的基本原理就是把高速的数据流通过串并转换, 分配到传输速率相对较低的若干个信道中进行传输。从而拓宽了有效数据信号的码元宽度, 由此能有效地对抗多径时延扩展。如果 N 表示子信道的个数, T 表示 OFDM 符号的宽度, $d_i (i = 0, 1, \dots, N - 1)$ 是分配给每个子信道的符号, f_c 是第 0 个子载波的载波频率, $rect(t) = 1, |t|$

$\frac{T}{2}$, 则从 $t = t_s$ 开始的 OFDM 符号可以表示为:

$$s(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} d_i \text{rect} \left[t - t_s - \frac{T}{2} \right] \exp \left[j 2 \pi \left(f_c + \frac{i}{T} \right) (t - t_s) \right] \right\} \quad t_s \leq t \leq t_s + T \quad (1)$$

$$s(t) = 0 \quad t < t_s \quad t > T + t_s$$

通常采用复等效基带信号来描述 OFDM 的输出信号, 见式 (2)。其中实部和虚部分别对应于 OFDM 符号的同相和正交分量。

$$s(t) = \sum_{i=0}^{N-1} d_i \text{rect} \left[t - t_s - \frac{T}{2} \right] \exp \left[j 2 \pi \frac{i}{T} (t - t_s) \right] \quad t_s \leq t \leq t_s + T \quad (2)$$
$$s(t) = 0 \quad t < t_s \quad t > T + t_s$$

为叙述的简洁, 可以令式 (2) 中的 $t_s = 0$, 并且忽略矩形函数, 对信号 $s(t)$ 以 $\frac{T}{N}$ 的速率进行抽样, 即令 $t = kT/N (k = 0, 1, \dots, N - 1)$, 得到:

$$s_k = s(kT/N) = \sum_{i=0}^{N-1} d_i \exp \left[j \frac{2 \pi i k}{N} \right] \quad (0 \leq k \leq N - 1) \quad (3)$$

可以看到, s_k 等效为 d_i 对进行 DFT 运算。同样在接收端, 为了恢复出原始的数据符号 d_i , 可以对 s_k 进

收稿日期: 2004-10-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60272028)

作者简介: 王德清 (1979-), 男, 硕士研究生。研究方向: 水声通信, 电路与系统。



行逆变换, 即 DFT 得到:

$$d_i = \sum_{s=0}^{N-1} s_k \exp\left(-j \frac{2\pi i k s}{N}\right) \quad (0 \leq i \leq N-1) \quad (4)$$

由此, OFDM 系统的调制和解调可以分别由 DFT/DFT 来代替。在实际应用中, 可以采用更加方便快捷的快速傅立叶变换 IFFT/FFT。

3 系统构成及浮点 DSP 实现

OFDM 系统虽然可以避免符号间干扰 (ISI) 并减少信道

间干扰 (ICI), 但信号经过多径衰落信道到达接收端的所有子载波上的信号幅度却可能不同。事实上, 某些子信道由于深衰落可能会完全被淹没^[1]。为了避免这种现象出现, 需引入前向纠错编码。本文选用卷积码。由此, 得到 OFDM 编解码系统框图, 如图 1 所示。

作者利用美国 TI 公司 DSP6711 的 DSK 板构成了上述系统的硬件实现部分。DSP6711 是 32 bit 浮点数字信号处理芯片, CPU 主频 100~150 MHz。它秉承了 TM S320C6000 系列芯片的特点, 在体系结构上采用了 V elocIT I 甚长指令字。在这种结构中, 由一个超长的机器指令字来驱动内部的多个

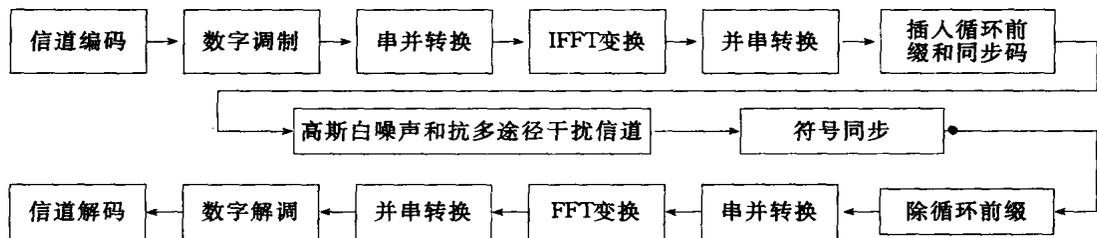


图 1 OFDM编解码系统框图

功能单元, 每个指令字包含多个字段 (指令), 字段之间相互独立, 各自控制一个功能单元, 因此可以单周期发射多条指令, 实现很高的指令级并行效率, 将数字信号处理器的处理能力提高到了一个新的境界。6711 还是一款浮点处理芯片, 这给编程提供很大的方便。

3.1 信道编解码

为了保证可靠通信, 系统首先将源数据流进行信道编码。本系统采用约束长度为 7 的卷积码 (2, 1, 7), 该码能使相关通信系统的误码率达到最小, 且能克服相位误差; 该码也是当前国际卫星通信、HDTV 地面广播 COFDM 传输系统等很多通信系统中, 首选的使用 V iterbi 译码的标准卷积码, 其编码结构如图 2 所示。

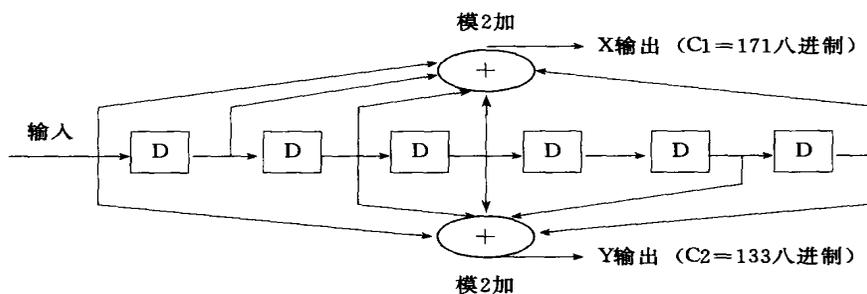


图 2 (2, 1, 7) 码编码结构图

编解码时为了编程的方便, 数据结构采用将 bit 流以数组形式存放。编码输入位为低位, 移出位为高位。把寄存器的值与抽头系数 (79, 109) 按位与, 再判断 1 的个数来决定输出的数值。V iterbi 译码是一种最大似然译码, 其基本思想是依次在接收数据的不同时刻, 对网格图中相应列的每个点, 按照最大似然准则比较所有以它为终点的路径, 只保留一条具有最大似然值的路径, 而将其它路径堵死, 弃之不用。这样接收一段, 计算一段, 比较一段, 保留下幸存路径。本文利用此算法时在编码的时候加入等于寄存器长度的尾比特, 即 6 个

0, 使最后的幸存路径即为到达状态 0 时的路径。V iterbi 译码的流程图见图 3。

3.2 OFDM 符号形成及符号同步算法

OFDM 的调制方式有 M PSK, MQAM 等多种方式, 我们选用 DQ PSK 调制。调制目的在于将信道编码后的数据流经过 DQ PSK 映射, 以完成码形变换。

经过 DQ PSK 映射后的复数信号以 1 024 个数据为一组, 进行傅立叶反变换, 求反变换时, 可以根据傅立叶变换的性质, 将要变换的数据 $X(k)$ 先取共轭, 然后直接利用 FFT

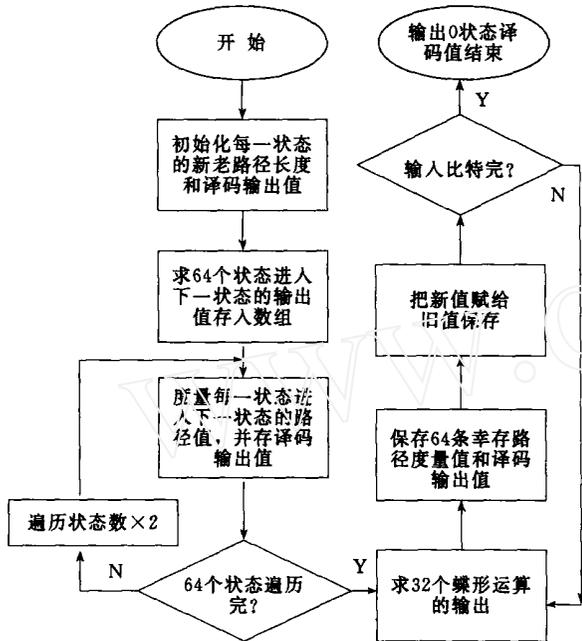


图 3 Viterbi译码流程图

子程序进行 FFT 变换, 最后再将运算结果取一次共轭, 并乘以 $\frac{1}{N}$, 即得到 $x(n)$ 值。推导公式如下:

$$x(n) = IDFT[X(k)] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-nk}$$

$$x^*(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X^*(k) W_N^{nk}$$

$$\text{因而 } x(n) = \frac{1}{N} \left[\sum_{k=0}^{N-1} X^*(k) W_N^{nk} \right]^* = \frac{1}{N} \{ DFT[X^*(k)] \}^* \quad (5)$$

在接收端, 对经过同步后得到的一个 OFDM 符号进行傅立叶变换。傅立叶变换程序里包含了倒位序的实现、蝶形运算、原位运算。蝶形运算可以写为下式:

$$\begin{aligned} X_m(k) &= X_{m-1}(k) + X_{m-1}(k + 2^{m-1}) W_N^r \\ X_m(k + 2^{m-1}) &= X_{m-1}(k) - X_{m-1}(k + 2^{m-1}) W_N^r \end{aligned} \quad (6)$$

在式(6)中, N 为傅立叶变换的点数, 这里取 1024 个; m 为蝶形的级数, $m = 1, 2, \dots, \log_2 N$; 2^{m-1} 为蝶形运算两结点的距离; 每一级分成不交叉的 $\frac{N}{2^m}$ 个蝶形组合。

FFT 变换时, 如果 FFT 运算窗口超出 OFDM 的符号边界, 就会造成 ISI 和 ICI。因此在多径环境中, 为了获得最佳

参考文献:

[1] 樊昌信, 张甫翔, 徐炳祥, 等. 通信原理[M]. 第 5 版, 北京: 国防工业出版社, 2001, 35- 387.
 [2] 佟学俭, 罗涛. OFDM 移动通信技术原理与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003, 2- 200.
 [3] 程佩青. 数字信号处理教程[M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 1995, 215- 254.
 [4] 李方慧, 王飞, 何佩琨, 等. TM S320C6000 系列 DSPs 原理与应用[M]. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2003, 2- 197.

的系统性能, 需要确定最佳的符号定时。本文采用的方法为: 在发送端的 OFDM 符号前添加训练系列, 在接收端用这个已知的训练系列通过最大似然方法找到同步位置。训练系列选用 m 系列。本原多项式为 $x^9 + x^4 + 1$, 总长度为 1023。

在每个 OFDM 符号之间插入保护间隔, 可以最大限度地消除符号间干扰。为了与 FFT 时间周期相对应, 在保护间隔内填入循环前缀(CP)信号, 就可以保证子载波之间的正交性, 从而避免产生信道间干扰(ICI)。本文建立的系统中一个数据帧包含 5 个 OFDM 符号和 1023 个同步数据信号。每一个 OFDM 符号都由 1024 个点的数据信号和 256 个数据的循环前缀组成。系统一个数据帧格式如图 4 示。

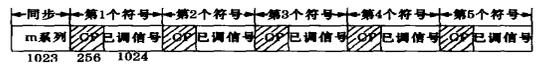


图 4 一个 OFDM 数据帧

4 结果和讨论

所有模块都在 TI 公司的 CCS2.1 软件平台上编译、仿真、调试, 图 5 是编码完的 OFDM 符号经过高斯信道, 接收端进行解码后与原数据比较得到的误码率曲线。

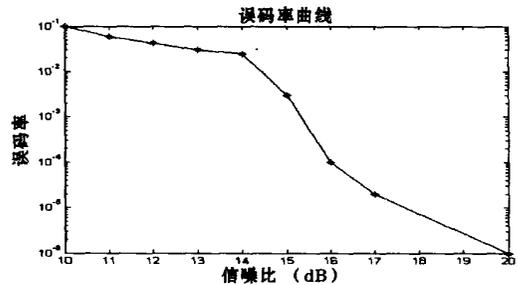


图 5 误码率曲线

由图可见, 本文建立的 OFDM 通信系统对高斯衰落信道具有一定的对抗性, 由于可将远、近距离的浅海声道分别近似地构建为瑞利衰落和加性高斯白噪声模型以及莱斯衰落和加性高斯白噪声信道模型^[9], 所以上述结果对将 OFDM 技术应用于水声信道具有积极的意义; 同时整个系统用软件无线电的方法在高速 DSP 芯片上实现, 使得数字信号的处理时间大大缩短以利于数据的高速、实时传输。此种高速、有效的通信系统也使得水下彩色图像高速传输成为可能。

- [5] 吴伟陵. 信息处理与编码[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999, 404- 426.
- [6] 谭浩强. C 语言程序设计[M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 1999, 38- 327.
- [7] 艾渤, 刘刚, 葛建华. COFDM 系统的符号定时同步算法[J]. 高技术通讯, 2002, 8, 26- 31.
- [8] 杜志秀, 刘增田. 用软件实现回啁方式的维特比译码[J]. 指挥技术学院学报, 1999, 10(3): 37- 40.
- [9] 许俊. 水声语音通信研究[D]. 厦门大学博士论文. 2001, 50- 56.

The Implementation of the Encoding and Decoding OFDM Technique Based on DSP6711

WANG De-Qing, XU Ru, LANG Chun-Li

(*Dept. of Elect. Engn., Xiamen Univ., Xiamen, 361005*)

Abstract Adopting the idea of the software radio, the article designs an OFDM communication system implemented by floating dot digital signal processing chip DSP6711. Basing on the result of the simulation of this system with MATLAB, the author implemented the OFDM communication system with DSP hardware, using C language of the professional software CCS2.1. In addition, the author test the performance of the encoding & decoding of the OFDM communication system by utilizing the channel simulated with MATLAB. The results indicate that the encoding & decoding scheme designed in the article possesses the fine performance of antagonism to Gauss's Fading Channel.

Key words: OFDM; Floating Dot DSP; Software Radio; Gauss's fading channel

(上接第 38 页)

The Data Fusion Technique in the Recognition of Mine Characteristics

GUO Li-hua, WANG Da-cheng, DING Shi-qi

(*School of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001*)

Abstract The method of this dissertation is to distinguish the property of the target by echo recognition. Echo recognition obtains feature information of target from its echo to emitted acoustic signal, which is produced by active sonar, and then decides its category by referring to a priori knowledge. The dissertation tries to combine signal processing and information fusion with the application background of mine recognition so as to improve the reliability and accuracy of echo recognition system.

Key words: mine target recognition; information fusion; feature extraction; wavelet transform; waveform structure; artificial neural network