

# 基于 DSP 的水下图像传输系统研究\*

程 恩<sup>1</sup> 许 茹<sup>1</sup> 苏运东<sup>2</sup>

(1. 厦门大学电子工程系 厦门 361005; 2. 福建电力调度通信中心 福州 350001)

## 摘 要

本文研究了基于高性能的 DSP 芯片 TMS320C549 的水下图像传输系统, 并采用 Goertzel 算法进行信源编码和 MFSK 调制方式, 运用 Turbo 码进行信道的编、解码, 来实现水下视频图像高速数据传输的目的。

关键词: 水下通信 MFSK 调制 Goertzel 算法 Turbo 码

中图分类号: P733. TN 文献标识码: A

## 1 水下图像传输系统

水下图像传输系统是水下工程一类观通设备, 它可作为水下机器人的“眼睛”, 水下自动生产系统的远程无缆监控设备, 还具有语音通信中难以表达的图文资料, 且图像传播可收到“一目了然”的信息。从通信技术的角度, 图像具有很大的数据量, 虽然当今通信技术的发展已经实现了在陆地和空中自由交流的愿望, 然而在水下这一切的实现却是显得那么遥远, 水声信道中的高速数据传输, 由于高频电磁波在水中的衰减很快, 不能进行远距离传输, 当前的唯一有效的手段是采用声波。然而海洋中声传播损失

随频率、距离、盐度的不同产生剧烈变化, 因而造成了水声信道传输带宽极其有限, 同时声波在海中的反射和散射又会产生严重的多途干扰等现象。这些因素都严重限制着水声信道的高速传输。本文中采用了 Turbo 码是 1993 年由 C. Berrou 等人提出的一种全新的信道编码方式, 它应用了香农定理中的随机性编、解码条件而获得了几乎接近香农理论极限的编、解码性能。且在信噪比较低的高噪声环境下, 具有很强的抗衰落、抗干扰的优越能力。本文将它应用于信道条件较差的水声通信系统中, 研究在水声信道中利用高速 DSP 芯片和数字处理技术来实现水下图像通信设备的小型化、低功耗、智能化。

水下图像传输系统框图如图 1。

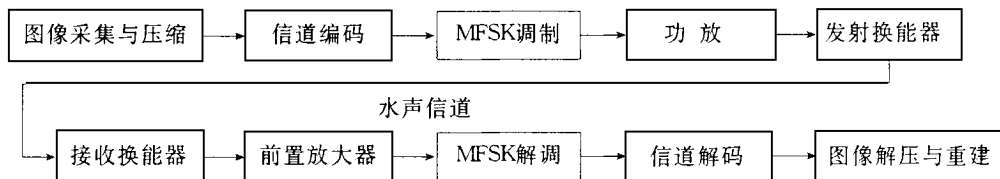


图1 水下图像传输系统组成

## 2 MFSK 信号的调制与传输控制

为了最大限度地减小水声信道的各种不利因素

对高速数据传输的影响, 针对水声信道的特点, 采用 DSP 芯片设计 MFSK 的调制方式可通过加长水声信号的持续时间, 达到将干扰回音淹没; 利用 MFSK 有较好抗多途性能, 增强系统的自纠错能力; 利用 DSP 高速、高精度、高稳定度的优良特性, 快速处理信源编码数据, 合成高精度频率信号, 完成信道调制。

\* 高等学校骨干教师资助项目

收稿日期: 2001-02-17

### 2.1 频率合成设计

采用泰勒级数展开法计算 0~ 45 的 sin 和 cos 值, 利用  $\sin 2X = 2\sin X \cdot \cos X$  求出 0~ 90 的 sin 值。通过复制, 获得 0~ 359 的正弦值。重复向 I/O 口输出。输出频率值由(1)式决定, 其中  $N$  为单周期采样点数,  $T$  为采样点输出间隔。

$$F = 1/(T \cdot N) \dots\dots\dots (1)$$

选择频率范围 10~ 20kHz 内的 16 个频点, 实现 MFSK 调制, 每次发送表示 4B it 数据。

### 2.2 同步控制

选取两个频率点为同步信号, 每发送一个数据帧前先发一个较长的帧同步信号。系统的接收端的位同步采用自同步方式, 无需另发送位同步信号。帧同步信号到达, 同时起到校准位同步信号的作用。系统根据图像的扫描显示特征, 发射相应的行场同步信号, 最大限度减少图像的变形与错位。要求系统的同步信号脉宽比数据脉宽长得多, 同时可根据信道手动调制同步脉宽, 以确保同步定位的准确性。

### 2.3 硬件设计

系统直接利用 C549 的缓冲串口接收信源编码数据, 利用 DSP 高速运算功能实现调制算法。数据包的长度可在 8 位、10 位、12 位和 16 位之中选择。外部按键中断, 以实现手动参数设置; 软件可编程定时器, 周期地产生中断, 精确控制信号脉宽; 调制数据经 16 位 I/O 口输出至高速 D/A (采用 TLC7524D/A) 见图 2。

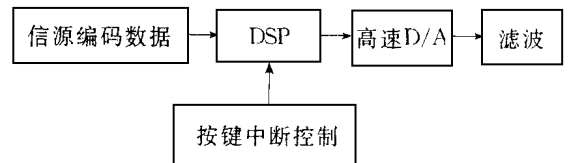


图2 MFSK信号的调制硬件组成

## 3 用谱分析的方法解调 MFSK 信号

信号接收系统设计框图如图 3。

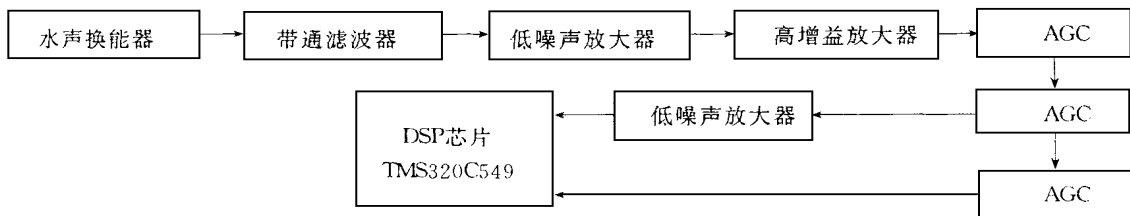
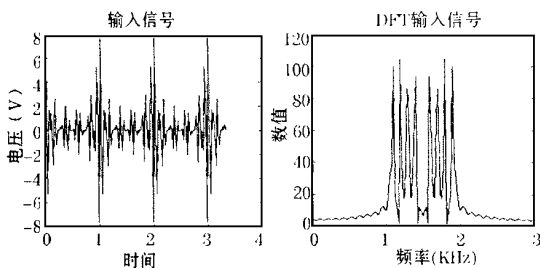


图3 接收系统设计框图

由于我们的发射信号是频率分布已知, 采用 DSP 技术, 准确提取相应的信息, 我们只需提取出相对应的线谱即可。对发射信号用 DFT 的方法进行谱分析, 结果见图 4。



(1) 收端信号 (2) 信号的 DFT 谱图

图 4

由图 4 可知, 若在发端信号为 500Baud/s 的条件下(比特率为 2kbit/s), 做 DFT 就能达到足够的

频率分辨力。研究中取抽样频率为  $f_s = 4f_{max}$ 。抗混迭滤波器的上截止频率为  $1.5f_{max}$ 。位同步采用自同步方式, 可由(2)式来实现位同步, 其中  $B_T$  为传送的波特率。

$$N = f_s/B_T \dots\dots\dots (2)$$

## 4 信号处理核心算法

### 4.1 Goertzel 算法

信号的发送是一个持续不间断的过程, 信号处理进程应满足实时和连续的要求。在解码中采用 Goertzel 算法, 该算法是利用一个双极点 IIR 滤波器有效计算出 DFT 值, 即采用递归算法, 每输入一个数据立即算出它的伪 DFT 值  $v_k(n)$ , 当取得一定数目的抽样值  $N$  后, Goertzel 滤波器的输出集中为伪 DFT 值  $v_k(N)$ , 从而算出信号功率谱。Goertzel

递归算法为:

$$v_k(n) = 2\cos(2\pi k/N) \cdot v_k(n-1) - v_k(n-2) + x(n) \dots\dots\dots (3)$$

其中  $n = 0 \dots N$ ,  $v_k(-1) = 0$ ,  $v_k(-2) = 0$ ,  $x(n)$  为输入信号

当  $n = N$  时

$$|X(k)|^2 = y_k(N) y_k^*(N) = v_k^2(N) + v_k^2(N-1) - 2\cos(2\pi k/N) v_k^2(N) v_k^2(N-1) \dots\dots\dots (4)$$

处理程序的主要之一是一个中断服务子程序 (RNT-ISR), 每收到一个数据时, 产生一个中断请

求。RNT-ISR 先用一个七阶的 Chebyshev I 型滤波器滤除加性高斯白噪声, 再根据抽样的数目 (count) 进行判断。当  $count < N$  时, 执行 Goertzel 算法, 求出伪 DFT 值  $v_k(n)$ ; 当  $count = N$  时, 求出功率谱  $|X(k)|^2$ , 最后把各频率点上的功率谱大小归一化, 将所对应的幅度软输出送给后端的 Turbo 码进行解码。

另一个处理程序是帧同步中断 (SYN-ISR), 每当收到一个帧同步信号时, 产生一个中断请求, 将抽样数目变量 count 置  $N$ , 伪 DFT 值  $v_k(n)$  的缓冲区清 0 等一系列初始化工作。

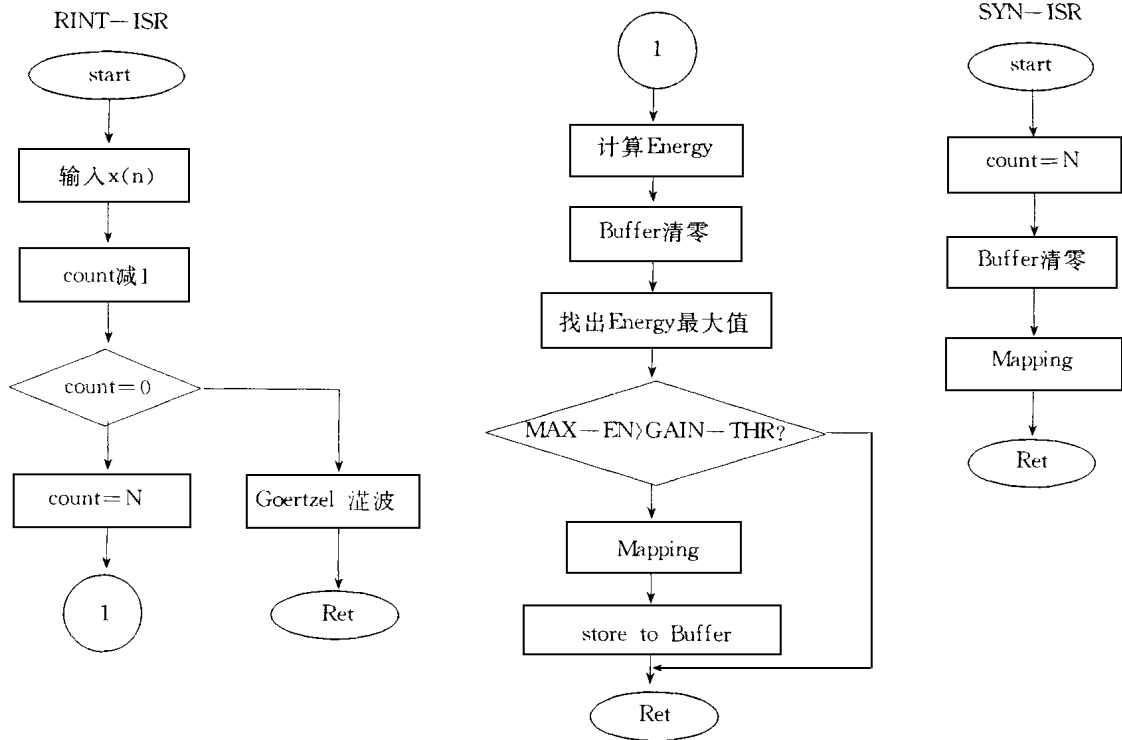


图5 Goertzel算法流程图

### 4.2 Turbo 码的编、解码

#### 4.2.1 编码器

编码器如图 6 所示是用两个二元带反馈的递归系统卷积码(RSC)子编码器和一个复用单元并行级联而成。每帧数据  $u$  中的每个信息比特  $x_0$  在系统码输出的同时, 两个 RSC 子编码器分别输出一个校验比特  $c_1$  和  $c_2$ 。三路码流经增信删余(puncture)经复用单元后调制发射。采用增信删余的方法是为了得到较高的码率, 删除所有的  $x_1$  奇比特和  $x_2$  偶比特, 子编码器的码率为  $R_1 = R_2 = 2/3$ , 整个编码器的码

率为  $R = 1/2$ , 显然信息传输量减少了  $1/3$ 。

#### 4.2.2 交织器

Turbo 码中的交织器具有传统的抗信道突发错误, 改变码的重量分布和使重量谱窄带化等功能, 使整体纠错能力达到最佳。本系统采用不规则交织, 它对每一编码块采用固定的交织方法, 但块与块之间的交织器结构不同。不规则交织器具有最强的随机性, 因而性能最好, 但也最难生成。在此使用混合同余法, 产生长度信息码元的最小距离伪随机数, 同时采用校验技术使交织前相邻的信息位在交织后的距

离足够大,以扰乱原有序列的相关性。实际应用中,使用部分内存来存储映射地址。由于系统传输的是图像,只要求逐块显示图像,用一块图像的数据长度作为交织深度,在大交织深度的条件下,极大地降低

了误码率。

#### 4.2.3 译码器

译码部分如图 7 所示。

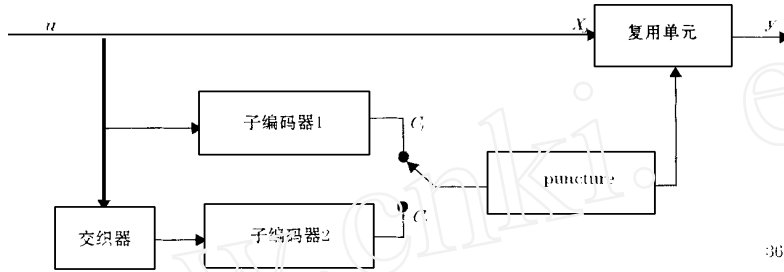


图 6 Turbo 码编码器结构框图

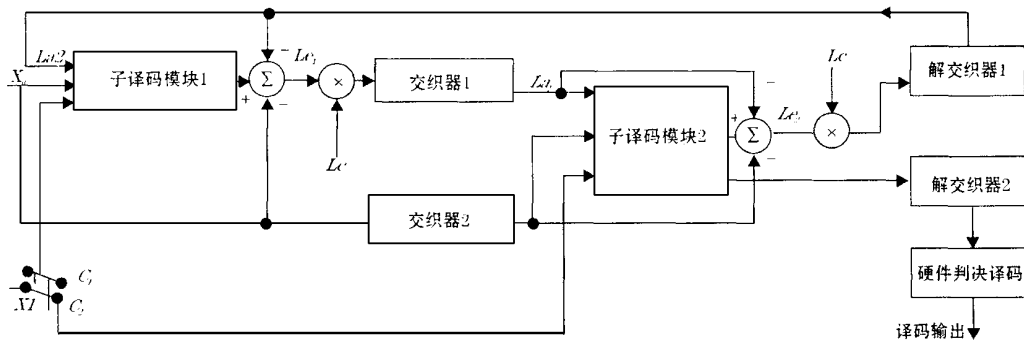


图 7 SOVA 迭代译码器结构框图

主要由两个采用 SOVA (软输出维特比算法) 迭代译码的子译码器组成。其中交织和解交织的作用是使所有时刻的先验信息、接收信息和校验信息相对应。由于编码器中子编码器 2 的信息位没有输出,子译码模块 2 利用子译码模块 1 译出的信息序列进行译码。软判决译码比硬判决译码性能提高 2dB,因此每一子译码模块都用软输入软输出译码。译码器工作原理:由于接收序列为串行数据,数据的串并转换后的  $x_0$  经过  $C_1$  送入子译码模块 1,根据 SOVA 译码,产生可靠性信息  $L_{c1}$ ,经交织处理得到的  $L_{c1}$  作为子译码模块 2 的软输入。子译码模块 2 根据 SOVA 产生可靠性信息  $L_{c2}$ , $L_{c2}$  经解交织处理得到  $L_{a2}$ 。  $L_{a2}$ ,  $X_0$  和  $C_1$  一起作为子译码模块 1 的软输入,经子译码模块 1 译码再次得到可靠性信息送给子译码模块 2。如此循环进行,直到译码性能不再提高。此时,将子译码模块 2 的输出反交织后进行硬判

决,其结果即为译码器的最终输出。由于每个译码模块不仅能利用本译码模块的信息比特和校验比特,还能利用前一译码模块提供的信息进行译码,从而提高译码的准确性。

## 5 结语

水声是水下无线中、远距离通信的唯一手段,由于水声信道的数据传输条件十分恶劣,具有极低的传输速率。因此,对我们的调制方式、纠错方式及信源编码方式都提出了特殊要求。研究表明:我们利用高速的 DSP 器件,采用成熟的 MFSK 调制技术和 Goertzel 信源编码算法,应用最新的 Turbo 编、解码方案,最大限度地用软件加以实现。它使我们的水下图像通信设备尽可能地实现了小型化和智能化。

## 参考文献

- 1 Texas Instruments. TM S320C54X DSP Reference Set[M]. 1997
- 2 John G. Proakis. 数字通信[M]. 第三版电子工业出版社. 影印版, 2000
- 3 Behrouz Forouzan. Introduction to Data Communications and Networking[M]. WCB McGraw - Hill, 1998
- 4 Daniel B, Kilfoyle, Arthur B. The state of the art in underwater acoustic telemetry [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering 2000, 25(1): 4- 27
- 5 Proakis J G, Biglieri E, Shamai S. Fading channels: information- theoretic and communications aspects [J]. IEEE Trans. Information Theory. 1998, 44: 2619- 2692
- 6 C Berrou, A Glavieux, and P Thitimajshina. Near Shannon Limit Error- Correcting Coding and Decoding: Turbo- Codes[J]. Proceedings of ICC '93, 1993, 5: 1064- 1070
- 7 白宝明, 马啸, 王新梅. 随机交织器的设计和实现[J]. 通信学报, 2000, 6: 6- 11
- 8 Hagenauer J, Hoehner P. A Viterbi Algorithm with Soft- Decision Outputs and its Applications[J]. Proc IEEE Globecom Conf, Dallas, 1989, 11: 1680- 1686
- 9 Benedetto S, Montorsi G, Divsalar, D et al. Soft- Output Decoding Algorithms in Iterative Decoding of Turbo Codes[J]. TDA Progress Report, 1996, 2: 63- 87

## Study on Underwater Image Transmission System Using DSP

Cheng En<sup>1</sup> Huang liangfeng<sup>1</sup> Su Yundong<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China<sup>2</sup>Fujian Electric Power Dispatching and Communication Center, Fuzhou 350001, China)

## Abstract

Underwater image transmission system using high- speed DSP device TM S320C549 has been studied. We Use Goertzel algorithm for source coding and MFSK for modulation. Turbo code is used for channel coding and decoding. The purpose is to implement underwater video image data transmission.

**Key words** underwater communication, MFSK modulate, Goertzel algorithm, Turbo code