

# DSP技术在SF-800收发信机中的应用

周涛, 刘广宪, 张冰, 杨邦苏, 戴德超

(许昌昌南通讯设备有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** SF-800收发信机采用数字信号处理技术, 用自适应滤波实现FSK数字信号的相干解调及最佳接收, 以提高收发信机的抗干扰性能, 从而更可靠地传输高频保护信号。

**关键词:** 频移键控; 自适应滤波; 最佳接收

中图分类号: TN911.72

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2000)05-0042-02

## 1 概述

在现有高频保护中, 收发信机的作用主要是和保护装置配合, 通过高频信号的传送和接收来保证保护装置准确的判别区内、外故障, 并正确跳闸。目前运行的收发信机基本上使用的是幅度键控(2ASK)式可发可收的收发信机, 采用非相干检测方式, 即包络检波。它实现简单, 但抗噪声性能不理想。从数字通信的角度看, 相干解调有着更好的传输性能和更低的误码率, SF-800采用数字信号处理(DSP Digital signal process)技术中的自适应滤波(ADF, Adaptive Filter)技术, 实现了频移键控(FSK)相干解调, 较好地提高了收发信机的抗噪声性能。

## 2 原理概述

### 2.1 数字信号载波传输

低速数字信号的传输常用2ASK和2FSK两种, 采用同样的解调方式时二者传输性能一致, 只是所占带宽稍有不同, 为方便讨论, 我们以2ASK为例。实际传输过程中会受到干扰, 最常见的干扰为加性高斯白噪声(AWGN)。我们以最大输出信噪比和最小差错概率为最佳准则, 讨论最佳接收的实现。

上述两种准则的实现如图1、2。



图1 最大输出信噪比最佳接收机

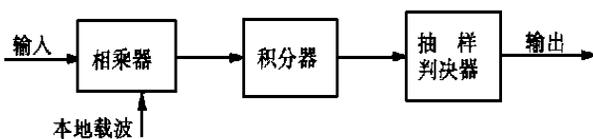


图2 最小差错概率最佳接收机

分析匹配滤波器的输入、输出, 可以看出图1、

图2中两种方案是等效的。也就是说最佳接收机可以用相干解调器和积分器组成的相关器来实现, 条件是相干解调后的滤波器必须严格按照匹配滤波的要求设计, 才能实现真正的最佳接收。

信号的相干检测, 可以使得信息的能量共振增强, 极大地提高信噪比, 但是需要产生本地同频同相载波。同时, 为了实现最佳接收, 还要实现尖锐滤波器, 以抑制噪声能量, 提高信噪比。如果不能产生与信号载波同频同相的本地载波, 则相干解调后将有可能带来严重失真; 同时, 高 $Q$ 值的滤波器用无源滤波器设计极为复杂, 工艺水平要求很高, 很难保证性能, 而且时延很大, 这也正是目前收发信机少有采用相干解调的原因。SF-800型收发信机采用数字信号处理技术, 较好地解决了这两个问题。

### 2.2 自适应滤波原理概述

我们要解决的实际问题, 是要从噪声中提取信号, 这时, 需要用到维纳滤波, 即所谓的最佳线性过滤器, 它采用的准则是最小均方误差(LMS)准则, 也就是说, 利用噪声与有用信号的互相关性, 达到输出信号与所要得到的信号均方误差最小的目的。

自适应滤波器可以看作是能自动调节自身的单位脉冲响应以达到最优化的维纳滤波器, 由于维纳滤波需要预先知道自相关矩阵和互相关矢量, 矩阵反演的运算量很大, 而且难以跟踪自相关矩阵和互相关矢量的变化, 所以实用中无法直接使用。而LMS算法自适应滤波不需要知道过去的采样数据, 通常它使用横向结构的FIR滤波器, 针对当前采样点逐点调整滤波器各个节点的加权系数, 以达到均方误差最小, 它根据下式来更新加权系数:

$$W_{k+1} = W_k + 2\mu e_k X_k$$

$$e_k = y_k - W_k^T X_k$$

其中 $W_k$ 是第 $k$ 个采样点的加权系数,  $X_k$ 是输入信号矢量,  $e_k$ 是均方误差矢量

通过对 $\mu$ 的适当选择, 可使上述算法收敛, 也

即使 LMS 算法有效。

### 3 SF-800 中最佳接收的实现

SF-800 型收发信机采用了先进的数字信号处理技术,考虑到闭锁、允许式两种保护方式,并增加了通道监测的功能,选用 2FSK 调制,用自适应滤波技术中的单频跟踪(SFT, Single Frequency Trace)技术,实现锁相和相干解调的功能,可兼顾较小的传输延时和优良的解调性能,SFT 和自适应解调(ADEM, Adaptive Demodulation)框图分别如图 3、4。

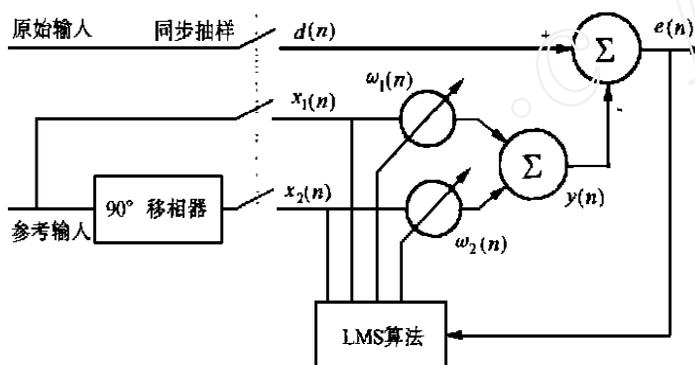


图 3 自适应单频跟踪器

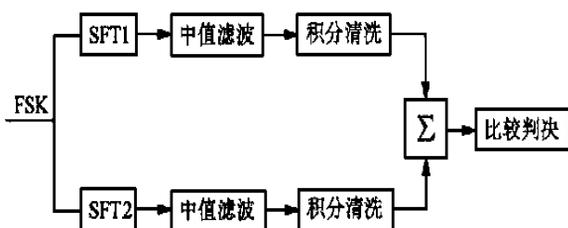


图 4 FSK 自适应解调器

图 3 中的系统常用作陷波器,在这里我们把它用作信号提取系统,它能自适应地准确地跟踪信号,并易于控制带宽。其中原始输入  $d(n)$  为包含所需解调信号  $s_0$  和噪声的随机信号,参考输入为一纯余弦波  $\cos(\omega_0 t + \phi)$ , 经过  $90^\circ$  相移并经过采样得到  $x_1(n)$  和原信号经采样后的信号  $x_2(n)$ , 得到跟踪后的单频输出  $y(n)$ , 与  $d(n)$  相比较, 得到均方误差  $e(n)$ , 通过基于最小均方误差(LMS)算法的自相关抵消回路, 调整加权系数, 从而得到准确输出。两个

加权系数  $w_1(n)$ 、 $w_2(n)$  使得有两个自由度可调, 从而使得组合后的余弦波的振幅和相位都可调, 这样, 输出  $y(n)$  的振幅和相位都可以和原始输入中的需解调信号的相同。SFT 可以看成是一个 Q 值很高的窄带滤波器, 具有很高的频率分辨率, 它跟踪有用频率, 对其他频率分量不敏感, 尤其对加性高斯白噪声有很强的抗干扰能力。

ADEM 是基于自适应滤波原理的解调方法, 其中 SFT1 和 SFT2 分别跟踪  $f_1$  和  $f_2$  两种单频信号, 经过中值滤波, 去除 SFT 输出中的高频分量, 取得信号包络, 再经积分清洗和比较判决获得最佳接收, 由于采用了自适应 SFT, 从而具有很强的抗噪声能力, 具有良好的信号识别性能。实验表明采用了 ADEM 的 SF-800 的抗高斯白噪声性能较 2ASK 方式的收发信机有很大提高, 目前它的实际输出响应速度为延时  $3 \sim 5\text{ms}$ , 这主要由 LMS 算法上收敛速度决定, 折衷选择收敛因子  $\mu$  值, 即可使算法不发散, 又可获得较小的传输延时。

### 4 实验

SF-800 收发信机用于闭锁、允许式高频保护都已经过动态模拟实验, 符合各项指标, 由于采用了新的技术和工艺, 性能指标有显著提高。

### 5 结论

收发信机是高频保护中重要的组成部分, 它的正确运行直接影响到高频保护的正确动作, 因此, 提高收发信的安全性和可靠性很有意义。文中提出的 ADEM 方法, 较好地实现了这一目的。

### 参考文献:

- [1] 胡爱群, 苏杰. 自适应 FSK 解调方法. 应用科学学报, 1996, 14(2).

收稿日期: 1999-10-06

作者简介: 周涛(1972-), 男, 工程师, 主要从事电力系统通信研究; 刘广宪(1952-), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统通信研究。

### Application of DSP technique in SF-800 transceiver

ZHOU Tao, LIU Guang-xian, ZHANG Bing, YANG Bang-su, DAI De-chao  
(XI Changnan Communication Equipment Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** SF-800 transceiver equipment adopts the method of DSP and ADF technology to carry out the FSK demodulation, then to improve the capability of resisting noise and to translate the remote protection signal more reliable.

**Key words:** frequency shift keying(FSK); adaptive filter(ADF); optimum receiver