

# 软件无线电中 FM 调制解调算法的 DSP 实现

顾 斌, 赵明忠

(金陵科技学院-美国德州仪器联合 DSP 实验室, 江苏省南京市 210001)

【摘 要】介绍了 FM 调制解调的数字化实现方法, 给出了基于 DSP 芯片 TMS320C32 DSP 实现的 FM 调制解调算法功能模块及其主要源代码。该功能模块已应用于超短波 FM 电台上。

关键词: FM, DSP, 软件无线电

中图分类号: TN924

## 0 引 言

传统的调制解调信号处理是以模拟技术为主。由于数字技术的发展, 特别是软件无线电的发展, 采用软件来实现已成为现代通信的主流, 性能也得到了很大的改善。调频(FM)是常用的调制方式之一, 也是超短波通信的主要工作模式。本文介绍 FM 调制解调数字化实现方法。

## 1 FM 的传统实现方法

调频信号的数学表达式为:

$$s_{FM}(t) = A_c \cos \left[ \omega_c t + k_f \int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau \right] \quad (1)$$

式中  $k_f$  为调频指数。

调频信号的产生方法有直接法和间接法两种。间接法的实现框图如图 1 所示。



图 1 FM 间接法调制框图

调频信号的解调方法有鉴频器解调和锁相环解调两种, 分别如图 2 和图 3 所示。

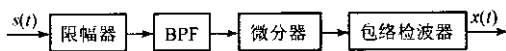


图 2 FM 鉴频器解调框图

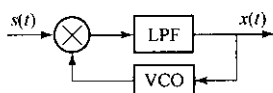


图 3 FM 锁相环解调框图

## 2 FM 的数字化实现方法

式(1)需转换为离散数学表达式, 除了要完成离散化以外, 由于式中包含积分运算, 所以还要把积分转换为合适的数值积分, 以使用软件处理来完成。本文采用复化求积法实现 FM 连续数学表达式离散化。所谓复化积分法, 是将求积区间  $[a, b]$  划分为  $n$  等分, 步长为  $h = (b - a)/n$ , 分点为  $t_k = a + kh, k = 0, 1, \dots, n$ 。先求各自区间上积分值  $I_k$ , 然后再求和, 用  $\sum_{k=0}^{n-1} I_k$  作为求积分的近似值。

复化梯形公式为:

$$T_n = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{h}{2} [f(x_k) + f(x_{k+1})] \quad (2)$$

采用复化求积公式后, FM 的离散数学表达式如下:

$$x(nT_s) = \cos \left\{ \omega_1 nT_s + k_f T_s \sum_{i=1}^n \frac{x(iT_s) + x[(i-1)T_s]}{2} \right\} \quad (3)$$

式中  $T_s$  为步长(采样间隔时间), 相当于式(2)中的  $h$ 。

式(3)三角展开后可以改写成下列形式:

$$\begin{aligned} x(nT_s) = & \cos \left\{ k_f T_s \sum_{i=1}^n \frac{x(iT_s) + x[(i-1)T_s]}{2} \right\} \cdot \\ & \cos(\omega_1 nT_s) - \\ & \sin \left\{ k_f T_s \sum_{i=1}^n \frac{x(iT_s) + x[(i-1)T_s]}{2} \right\} \cdot \\ & \sin(\omega_1 nT_s) \end{aligned} \quad (4)$$

FM 信号的调制就是根据式(4)计算得到的, 其框图如图 4 所示。

FM 信号的解调采用鉴频器解调的方法。由式(4)可知, FM 信号由两个正交分量组成, 将其通过 I、Q 支路分别下变频, 计算出各采样点的相位, 再经过微分电路即可得到基带信号, 这里微分完成模拟器件中鉴频器的作用。其解调原理框图如图 5 所示。

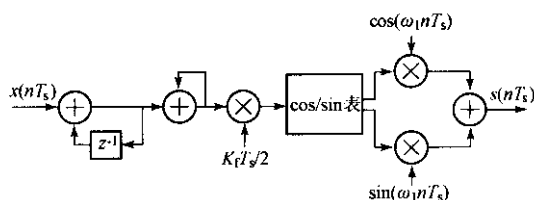


图 4 FM 信号的调制框图

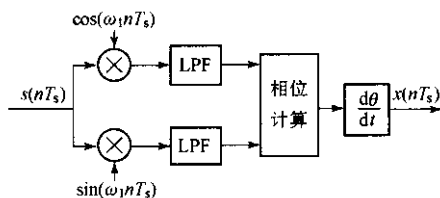


图 5 FM 信号解调框图

基于 TMS320C32 用汇编语言实现 FM 调制解调算法的主要程序如下：

调频波形形成发送

```
call findlroute
```

```
call avertol
```

```
ldf @fmfai r0 ;fmfai 为 VCO 的相位累加器
```

```
addf r4 r0
```

```
addf @carrfai r0 ;carrfai 为 VCO 的载波单位积累
```

```
ldf @twopi r1
```

cmwith0 :

```
cmpf 0.0 r0
```

```
bge cmfaiwithtwopi
```

```
addf r1 r0
```

```
br cmwith0
```

cmfaiwithtwopi :

```
cmpf r1 r0
```

```
ble fmfaittwopi
```

```
subf r1 r0 ;把相位约束在 2 * pi 之内
```

```
br cmfaiwithtwopi
```

fmfaittwopi :

```
stf r0 ,@fmfai
```

```
mpyf @faitostep r0 ;1024/(2 * pi)
```

```
fix r0 ,r0
```

```
cmpi 1024 ,r0
```

```
ldigt 100 ,r0
ldi @fmcarcoshd ,r0
ldf * + ar0( ir0 ) ,r0
```

fmdebug :

```
mpyf @fmtranmag r0
```

```
fix r0 ,r4
```

调频波接收解调

```
float r5
```

```
mpyf 0.05 ,r5
```

```
mpyf 0.05 ,r5
```

```
ldf @fmpprepoint r0
```

```
mpyf r5 ,r0
```

```
stf r5 ,@fmpprepoint
```

```
ldi 48 ,bk
```

```
ldi @fmfirhd ,r0
```

```
ldi @datafirbufhd ,r1
```

```
stf r0 ,* ar1 + + %
```

```
sti ar1 ,@datafirbufhd
```

```
ldi 46 ,rc
```

```
call fir
```

```
ldf r0 ,r5
```

```
mpyf 4.0 ,r5
```

```
fix r5
```

```
call out3route
```

```
rets
```

### 3 结束语

DSP 技术是软件无线电的关键技术,本文基于 TMS320C32 DSP 芯片实现的 FM 算法功能模块,已成功用于超短波 FM 电台上。

#### 参 考 文 献

- [1] 杨小牛,楼才义,徐建良. 软件无线电原理与应用. 北京:电子工业出版社,2001
- [2] 王金龙,沈良,任国春,等. 无线通信系统的 DSP 实现. 北京:人民邮电出版社,2002
- [3] 赵明忠,顾斌,王钧铭,等. DSP 应用技术. 西安:西安电子科技大学出版社,2004

## 欢 迎 投 稿

投稿简则见本刊第 80 页

E-mail : radarnet @ public1. ppt. js. cn