

# 微处理器在采样锁相环中的应用

陈勇孝

王安国

朱志军

(郑州工业大学数力系) (驻马店智能研究所) (郑州财税学校)

**摘要:**本文以外测系统中三阶锁相环为例,讨论了模拟锁相环到采样锁相环的数字化方法。在数学分析的基础上,通过Z变换,推导出三阶采样锁相环的结构图,并给出用微处理器实现数字化的8086汇编语言程序流程图。

**关键词:**锁相环,微处理器,积分器

**中图分类号:**TP271.5

在外测系统中,锁相环的应用极为广泛,并且在大多数的情况下,二阶锁相环路已经能够满足技术性能指标的要求。但是,随着航天航空技术的迅速发展,对空间目标的跟踪精度不断提高,激光雷达的问世也给锁相环提出了新的要求。三阶锁相环的出现可解决实际应用中的若干矛盾,并逐步在工程技术中得到应用。本文不准备对三阶锁相环的性能指标进行详细地分析,有关这方面的内容请参考文献[1]、[2]。这里主要讨论三阶锁相环路中理想积分器的微处理器实现方法以及软件编制流程。

在二阶锁相环中,如果环路要跟踪很大的多卜勒频率变化率,则只有放宽噪声带宽来满足跟踪误差的要求,但是,这样做就削弱了过滤输入噪声的能力。而使用三阶锁相环路后将跟踪频率斜升输入信号引进的跟踪误差下降两个数量级则是轻而易举的事。

根据维纳最佳理论,1995年Jaffee已推证的理想数学模型如下所示:

$$F(S) = \frac{1 + \tau_2 S}{\tau_1 S} + \frac{1}{2\tau_1 \tau_2 S^2}$$

我们知道,实际中的电子线路是不易实现上述的理想数学模型的。必须对此理想数学模型进行适当修改后,才能用具体的电路去实现。

本文以采样理论中的Z变换原理为出发点,通过采样保持器、模/数转换器以及微处理器将上面所讲的模拟锁相环离散化后,推导出相应的数学模型,最后用数字的方法实现上述的数学模型。

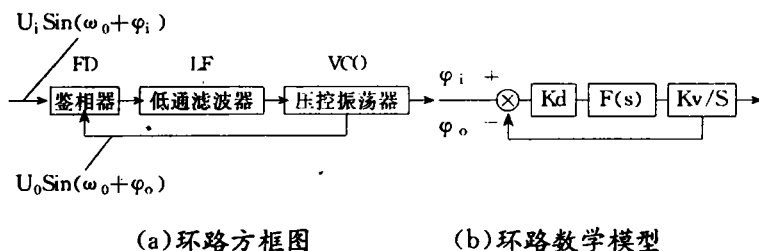
## 1 数学分析

模拟锁相环的方框图和数学模型如图1中的(a)、(b)所示:

在设计滤波器时,模拟低通滤波器本身是二阶的,而由于模拟压控振荡器VCO具有积分作用,相当于等效地串联了一个积分环节,所以环路变成三阶环。又由于在环路数字化后,

收稿日期:1995-11-06

数控振荡器 DCO 没有积分的作用,因此在将模拟压控振荡器 VCO 离散化变成数控振荡器 DCO 时,应将这一等效的积分环节前移到数字滤波器中,使滤波器本身变成三阶的滤波器,等效的数字滤波器结构如图 2 所示:



(a) 环路方框图

(b) 环路数学模型

图 1 方块图和数学模型

根据图 2 的等效数字滤波器结构,我们可以求出其 S 传递函数  $G(S)$  为:

$$C(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{S^2 + aS + b}{S^3}$$

$$\text{令 } b = \left(\frac{a}{2}\right)^2$$

则有

$$G(S) = \frac{(S + \frac{a}{2})^2}{S^3}$$

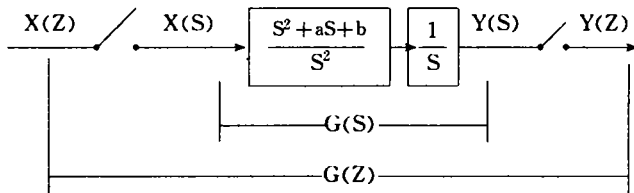


图 2 等效的数字滤波器

等效的数字滤波器的 Z 传递函数  $G(Z)$  为:

$$G(Z) = Z(G(S)) = Z\left[\frac{(S + \frac{a}{2})^2}{S^3}\right] = RES\left[\frac{(S + \frac{a}{2})^2}{S^3} \cdot \frac{1}{1 - e^{TS}Z^{-1}}\right]_{S=0}$$

(1) 单位脉冲法设计滤波器

$$\text{因 } G(S) = \frac{(S + \frac{a}{2})^2}{S^3} = \frac{1}{S} + a \cdot \frac{1}{S^2} + \frac{a^2}{4} \cdot \frac{1}{S^3}$$

$$\text{所以 } g(t) = 1(t) + a \cdot t + \frac{a^2}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot t^2$$

$$\text{故 } Z(g(t)) = Z[G(S)]$$

$$\begin{aligned} &= \frac{Z}{Z-1} + \frac{aTZ}{(Z-1)^2} + \frac{a^2}{4} \cdot \frac{T^2}{2} \cdot \frac{Z(Z+1)}{(Z-1)^3} \\ &= \frac{8Z(Z-1)^2 + 8aTZ(Z-1) + a^2T^2Z(Z+1)}{8(Z-1)^3} \\ &= \frac{(\frac{a^2}{4}T^2 + 2aT + 2)Z^{-2} + (\frac{a^2}{4}T^2 + 2aT - 2)Z^{-1} + 2}{2(1-Z^{-1})^3} \\ &= \frac{(\frac{a^2}{8}T^2 + aT + 1)Z^{-2} + (\frac{a^2}{8}T^2 + aT - 1)Z^{-1} + 1}{(1-Z^{-1})^3} \end{aligned}$$

(2) 线性变换法设计滤波器

我们知道,积分环节的 S 传递函数  $G(S)$  为:

$$G(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{1}{S}$$

$$\text{即 } y(t) = \int_0^t x(t) dt$$

上式对应的差分方程如下:

$$y(n) = \sum_{i=1}^1 y(n-i) + \sum_{i=0}^0 T x(n-i)$$

$$= y(n-1) + T x(n)$$

由上式的差分方程可求出对应的 Z 传递函数 G(Z) 如下

$$\text{由于 } Y(Z) = Y(Z)Z^{-1} + T X(Z)$$

$$\text{所以 } \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{T}{1-Z^{-1}}$$

通过比较 G(S) 与 G(Z) 可以看出, 若在 G(S) 中令  $S = \frac{T}{1-Z^{-1}}$ , 则从 G(S) 可直接求出 G(Z) 来。

### (3) 双线性变换法设计滤波器

经推导[3], Z 与 S 的替换关系为

$$S = \frac{2}{T} \cdot \frac{1-Z^{-1}}{1+Z^{-1}}$$

$$= \frac{2}{T} \cdot \frac{Z-1}{Z+1}$$

对应图 1 的(b)中的 F(Z) 和图 2 中的 G(Z) 如下所示:

$$F(Z) = \left(1 + \frac{\alpha}{1-Z^{-1}}\right) \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{1-Z^{-1}}\right)$$

$$G(Z) = \left(1 + \frac{\alpha}{1-Z^{-1}}\right) \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{1-Z^{-1}}\right) \cdot \frac{T}{1-Z^{-1}}$$

下面我们给出三阶滤波器的结构图(如图 3)和差分方程:

$$\text{因 } \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{(1+\alpha-Z^{-1})(1+\alpha-Z^{-1})T}{(1-Z^{-1})^3}$$

$$= \frac{(1+\alpha)^2 - 2(1+\alpha)Z^{-1} + Z^{-2}}{1-3Z^{-1}+3Z^{-2}-Z^{-3}}$$

$$\text{故 } y(nT) = 3y((n-1)T) - 3y((n-2)T) + y((n-3)T) + T(1+\alpha)2x(nT) - 2(1+\alpha)x((n-1)T) + x((n-2)T)$$

上式就是我们设计的三阶滤波器。

经分析[1], 系统的根轨迹图如图 4 所示。

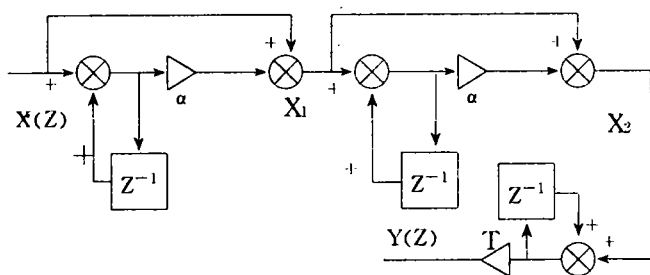


图 3 三阶滤波器的结构图

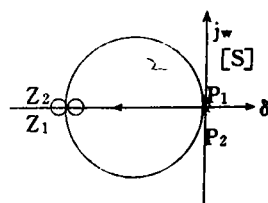


图 4 根轨迹图

环路带宽  $Bn=\frac{K}{4} \cdot \frac{2K+3m}{2K-m} \quad (m=\frac{\alpha}{T'})$

当  $K=\frac{27m}{4}$  时系统处于临界阻尼状态。

如果令带宽  $Bn=18Hz$ , 采样间隔  $T'=500\mu S$ , 则

$\alpha=mT'=4.04\times10^{-3}$

这里, 为了在后面用汇编语言编程时方便,  $\alpha$  取了近似值  $2^{-8}(4.04\times10^{-3}\approx2^{-8})$ 。

2 软件流程

有了上面推导的差分方程结构图, 我们可用微处理器实现。具体编制程序时, 使用了 INTEL 8086 汇编语言。软件的编制流程如图 5 所示。

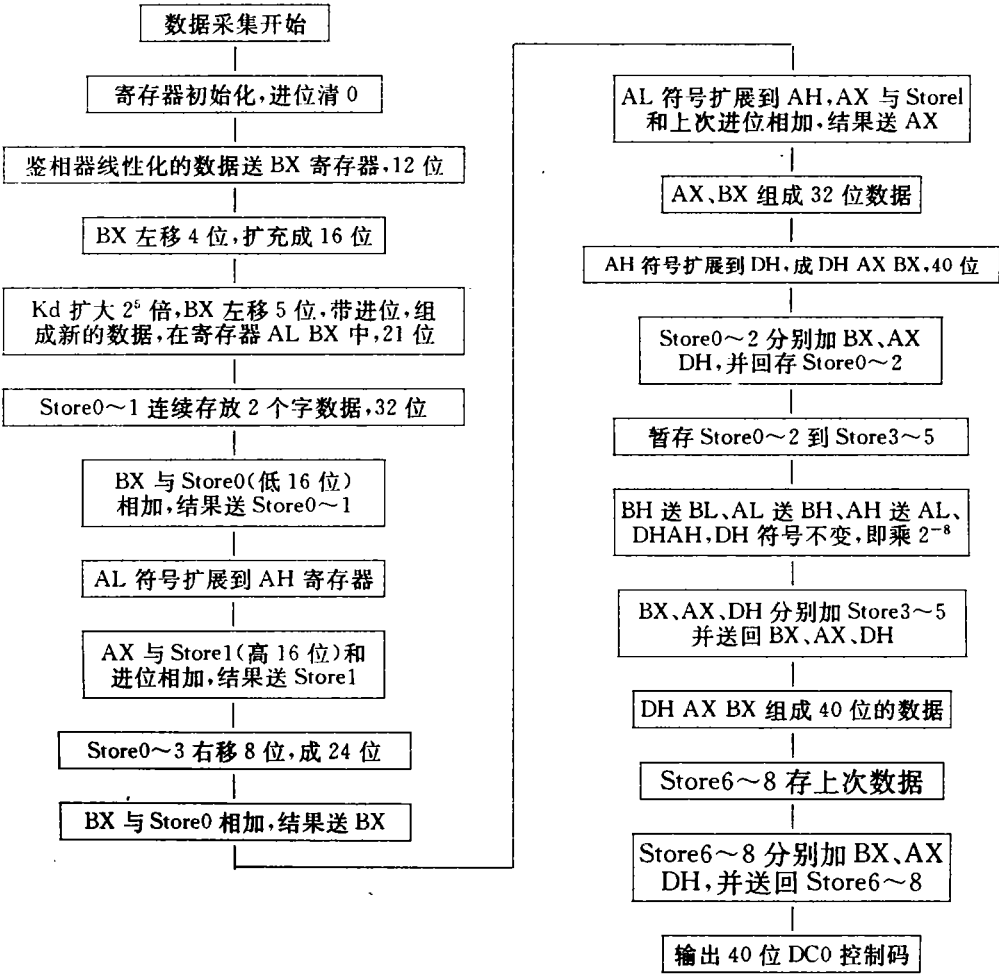


图 5 软件流程图

首先进行鉴相特性的线性化, 对采集的数据进行预处理。其次, 将  $Kd$  扩大  $2^5$  倍,  $Store0\sim1$  四个字节存储单元(2 个字)用来存放 32 位的数据。然后, 为了满足计算精度及数据累加的要求, 对数据的符号位进行扩展, 组成 40 位的数据。最后输出 40 位的数据, 作为数控振荡

器 DCO 的频率控制代码。

### 3 结束语

本文仅讨论了一般的模拟锁相环转换为采样锁相环的方法,并给出用微处理器实现数字滤波的具体过程。此外,微处理器还可完成鉴相特性的线性化工作。由于篇幅所限,对数控振荡器的具体设计电路未作具体分析,有关这方面的内容请参考其它资料。在实际应用中,环路的性能指标与模/数据转换器的位数、系统的采样周期、数控振荡器的频率控制码位数等密切相关。

### 参 考 文 献

- 1 三阶锁相环的分析与实践 电子部 1035 研究所
- 2 郑继禹等编著 锁相环路原理与应用 人民邮电出版社 1984
- 3 刘植桢 计算机控制 清华大学出版社 1984

## Application tne Microprocessor to Sampling Phase—Locked Loops

ChenYongxiao Wang Aanguo zhu zhijun  
(Zheng Zhou University of Technology)

(Intelligence 27th Institute ,Zhu Ma Dian,He Nan)

**Abstracts** Taking third order phase—locked loops in quterspace survey system for ebam-ple, we deal with the digitized method of transform analogue into digital. In this paper, we give the structural drawing of filter based on math analysis by Z—transition, supply program flow diagram of the INTEL—8086 Assembly.

**Keywords** Phase—Locked Loops, Microprocessor, Integrater.