

用微计算机实现的自寻最优点控制系统

赵经纬

(电子工业部通信测控技术研究所)

摘 要

本文叙述了一种用于天线自动跟踪的微计算机自寻最优点控制系统。文章提供了四种控制方式的程序框图,给出了实验结果。

一、前 言

现代卫星通信地面站的天线跟踪,广泛采用自寻最优点控制系统。

自寻最优点控制系统的基本理论在文献[1]中已有论述。由于一般电路难以实现较复杂的逻辑和一些数值计算,所以这种系统在早期只用了一些较简单的方式,电路也较复杂。微计算机的出现给自寻最优点控制提供了有力的工具,它可以实现一些一般电路难以实现的逻辑和数值计算,功能大大加强,精度得到提高。

在国外,卫星通信天线跟踪最初多采用寻求差方向图零点的方法,后来开始用一般电子电路实现自寻最优点控制^[2]。近年来越来越多地采用微计算机自寻最优点控制系统,作者只见到一些产品说明书和设备使用手册,但具体实现方法的技术资料没有见到。

在卫星通信中,这种自寻最优点控制通常称为极值跟踪或极大值跟踪(Maximum Tracking)。为了简化和习惯,本文称其为极值跟踪。

二、系 统 组 成

几种极值跟踪所用硬件基本相同。单板机是MEK6800D₂,多路转换器切换一个八位A/D变换器的输入信号,角位置反馈用电位器,电机、功放及减速箱为一般实验设备。

系统简图如图1(a)所示,对于记忆极值跟踪和同一步式步进跟踪,不用电位器和多路转换器,如图1(b)所示。

三、几种极值跟踪简述及其程序框图

1. 记忆极值式极值跟踪

记忆极值式极值跟踪,简称记忆极值跟踪或记忆跟踪,其特点是执行电机是连续运动

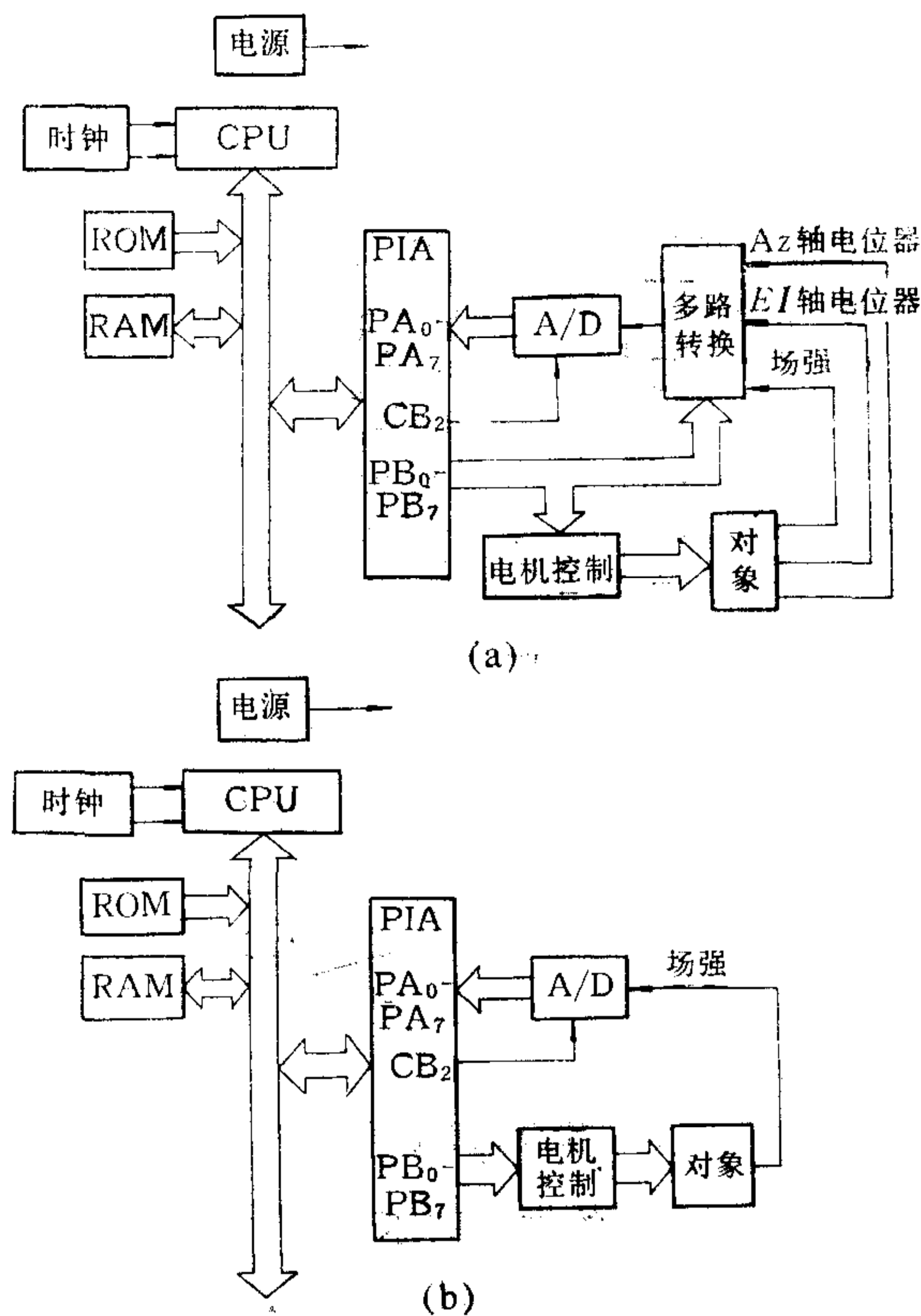


图1 系统简图

的,可使执行机构简单,降低对传动齿轮的要求。对一些精度要求低的情况,用三相异步电机(开环运行)即可满足要求,不需要功放。我们曾把用模拟电路和 TTL 集成电路混合构成的记忆极值跟踪系统用于 5 米抛物面天线,接收频率为 4GHz 和 12GHz 的两种设备,效果良好。

在这种方式中,天线连续运动,极大值记忆环节记下出现过的电压最大值,并与瞬时值比较。电压增加时,上述两值相同,当越过极大值后,瞬时值开始小于所记的极大值,当两值之差连续一段时间大于某一值时,给出电机反向信号,同时把所记极大值清除,然后开始另一次搜索。如果开始就向电压小的方向运动,开始的电压作为出现过的最大电压被记下来,瞬时值下降,控制电机反向。天线的方位 (Az) 轴和俯仰 (EI) 轴分别独立运行,切换工作。系统简图见图 1(b),用微计算机实现的程序框图如图 2 所示,电机控制子程序框图略。

2. 同一步式步进跟踪

步进跟踪是应用较广泛的一种极值跟踪。其搜索步和调整步可以是同一步,也可以是分开的,步距可以固定,也可以为变量。在取数时电机不动,所以可长时间取数,这便于滤掉各种干扰,对反应慢的对象也适用。与记忆极值跟踪相比,其执行机构和功放较复杂,对传动齿轮要求也高一些。

在步进跟踪中,对于搜索步和调整步为同一步、步距固定的方式,称为同一步式步进

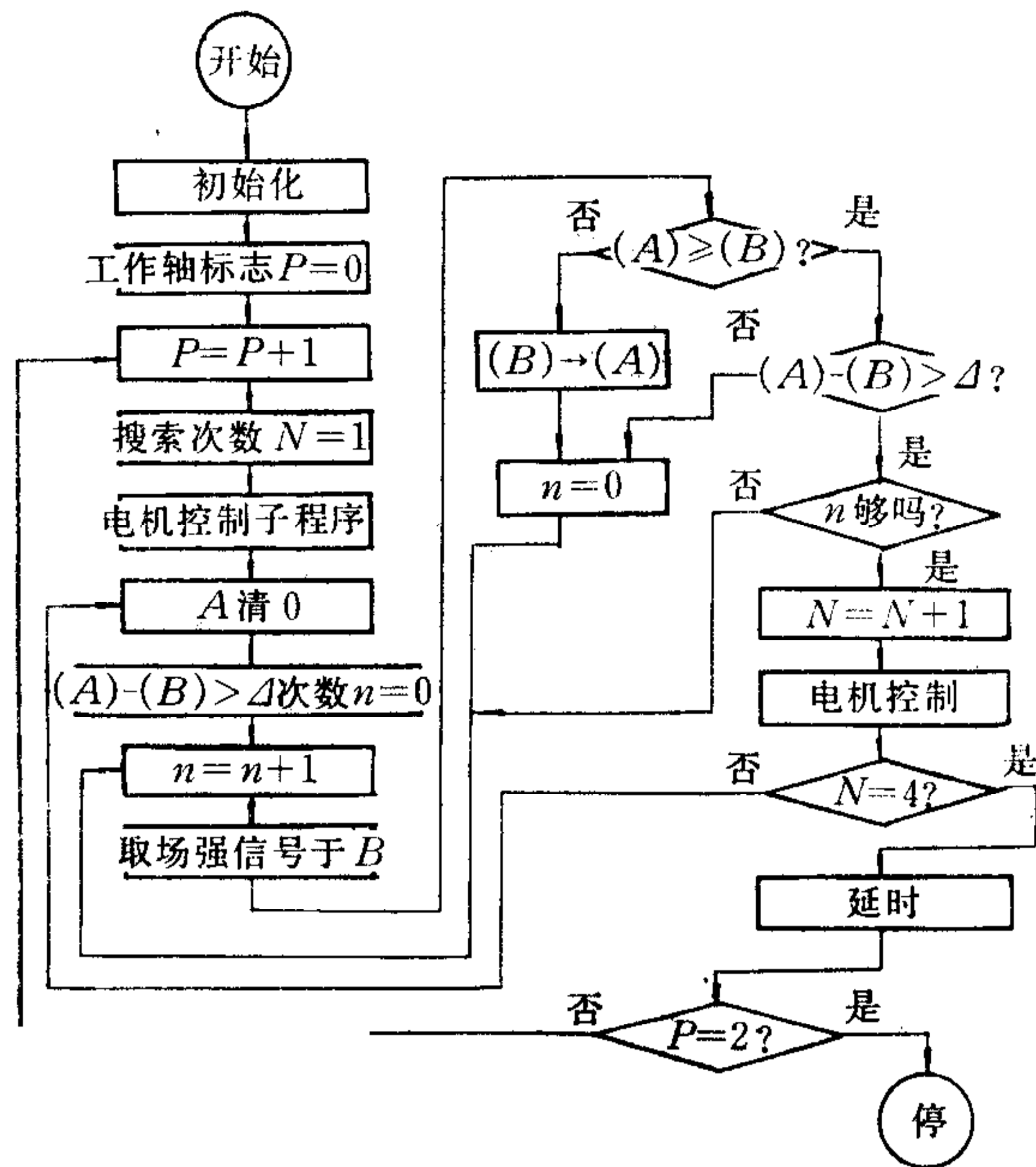


图 2 记忆极值跟踪程序框图

跟踪。这种跟踪方式逻辑简单,对步距的大小要求不严格,可以用启动、停止较快的电机由时间控制步距(开环运行)。系统简图如图 1(2) 所示。

收到场强信号后,天线作一初始角度移动(一步),然后比较移动前后的电压大小,电压增加则下一步方向不变,电压减小则下一步反向,如比较不出两电压的大小,下一步方向可以规定,本系统规定为反向。每走一步换一次轴,两轴交替着步进到极大值,走完规定步数后暂停。这种步进跟踪,我们曾用在上述抛物面天线,接收频率为 4GHz 的设备上,效果良好。

其用微计算机实现的程序框图如图 3 所示,电机转动子程序和取数子程序框图略。

3. 双向搜索等调整步式步进跟踪

这种跟踪方式是在收到场强信号后,天线前进和后退一个等步(搜索步),对这两点电压采样;比较,然后向电压高的方向移动一个固定步(调整步)。调整步和搜索步分开,两个步距可以不相同。在同一步式步进跟踪中,因极大值附近电压变化缓慢,一个步距之间电压差很小,当分辨不出大小时,只好按规定反向,致使误差加大。加大步距也会加大跟踪误差。而在双向搜索等调整步式步进跟踪中,可分别选择搜索步和调整步的步距,以达到较好的结果。而双向搜索的方法可使电压变化加大,易于分辨。这是这种方式的优点。这种方式要求对象特性在极大值附近对称(天线波束场强是对称的);要求双向搜索步距一样,所以采用了位置闭环系统推动天线。线性电位器的输出电压经 A/D 变换器变为数字信号,作为位置反馈信号进入微计算机。多路转换器也必须用上。系统简图如图 1(1) 所示。

由于船站稳定系统不能完全隔离船的摇摆,天线还有晃动,使场强信号有 0.1Hz 左右的起伏。另外多径效应也产生了 0.1—10Hz 的干扰,所以船站上取信号时间要长,以便滤

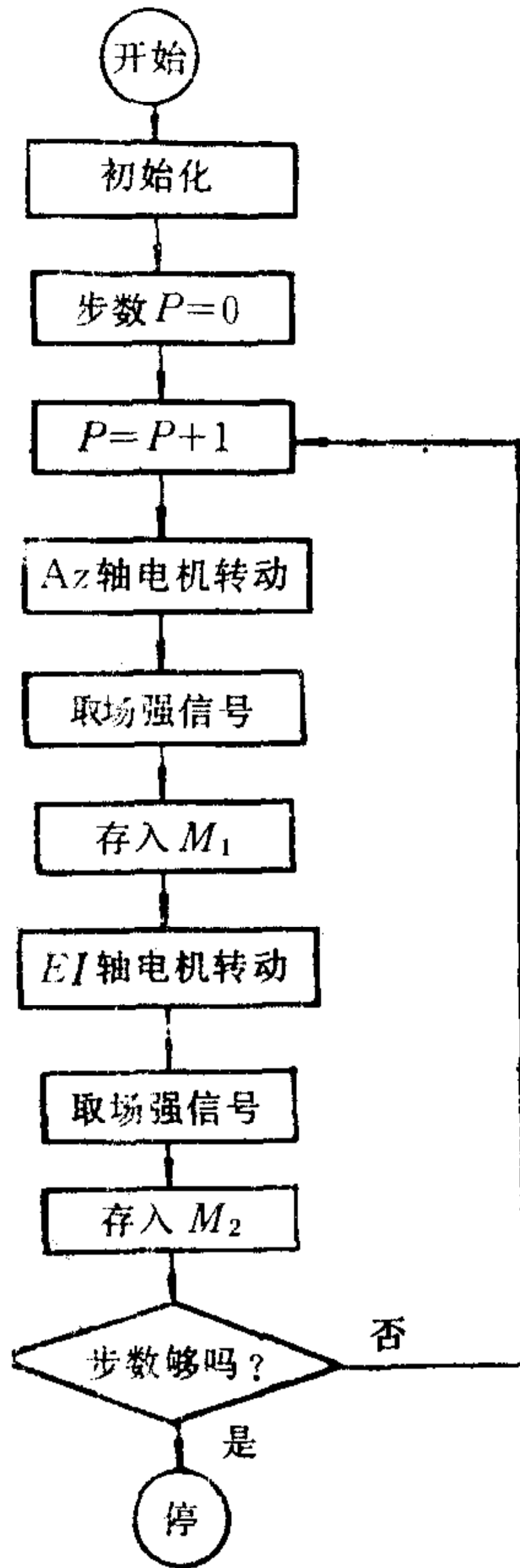


图3 同一步式步进跟踪框图

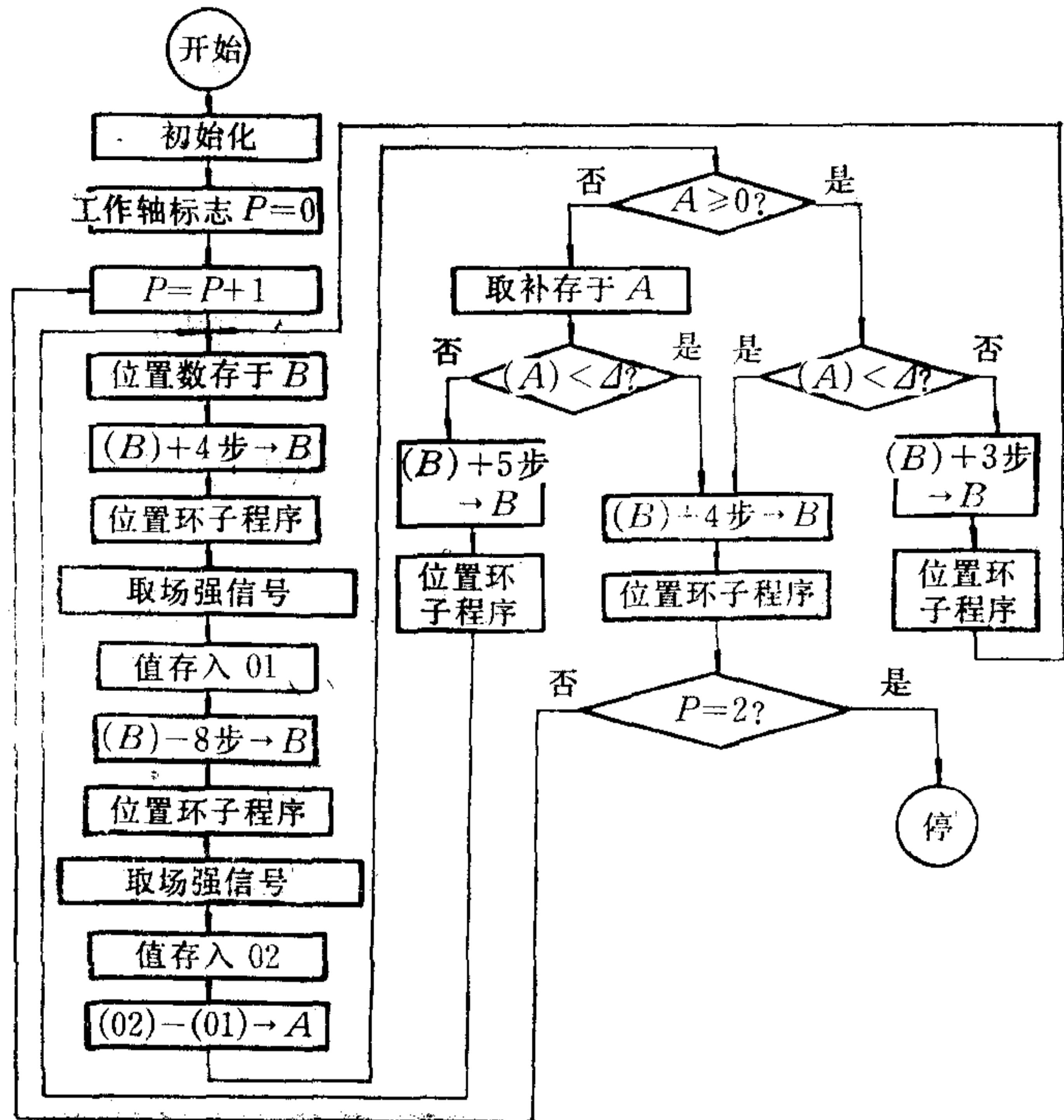


图4 等调整步式步进跟踪程序框图

掉低频干扰。为此，有一个长时间多次取场强求平均的子程序，取样次数为 64K 次，取样时间可调。本系统选一分钟左右。

这种方式可简称为等调整步式步进跟踪，其程序框图如图 4 所示。位置闭环子程序，取数子程序框图略。

4. 双向搜索变调整步式步进跟踪

这种方式的改进在于双向搜索后调整步不是固定的，而是根据两采样点电压来决定，差值越大，调整步越大。

天线场强电压近似公式为

$$E(\theta_i) = E_m e^{-\frac{2.77}{2} \left(\frac{\theta_i}{\theta_{hp}}\right)^2}$$

其中 E_m 为波束中心场强电压； θ_i 为离波束中心偏角； $E(\theta_i)$ 为在 θ_i 角时场强电压； θ_{hp} 为波瓣宽度。在 $\frac{\theta_i}{\theta_{hp}}$ 较小时可近似为

$$E(\theta_i) \doteq E_m \left[1 - \frac{2.77}{2} \left(\frac{\theta_i}{\theta_{hp}}\right)^2 \right] = E_m [1 - K_c \theta_i^2], \tag{1}$$

则

$$\frac{dE(\theta_i)}{d\theta_i} = -2E_m K'_c \theta_i = -K_c \theta_i \quad (2)$$

其中

$$K'_c = \frac{2.77}{2} \left(\frac{1}{\theta_{hp}} \right)^2 \quad (3)$$

$$K_c = 2E_m K'_c \quad (4)$$

由式(2)可知,当 θ_i 做微小变化时, $E(\theta_i)$ 之变化大小和离极大值点之距 θ_i 成正比,即下式近似成立

$$\theta_i = - \frac{\Delta E(\theta_i)}{K_c \Delta \theta_i} \quad (5)$$

则如果已知搜索步 $\Delta \theta_i$ 和由此引起的 $\Delta E(\theta_i)$, 可求出离极大值点的距离 θ_i . 若调整步即定为 θ_i , 则可一步达到极大值点.

为了程序简单,根据对象特性的实测结果,选定一个 $\Delta \theta_i$ (实际为两个方向,共两个搜索步之和),使

$$\frac{1}{K_c \Delta \theta_i} = 1 \quad (6)$$

则 $\theta_i = -\Delta E(\theta_i)$, 即调整步之大小正好在数值上等于两点电压差的绝对值,调整步方向由电压差的符号决定.

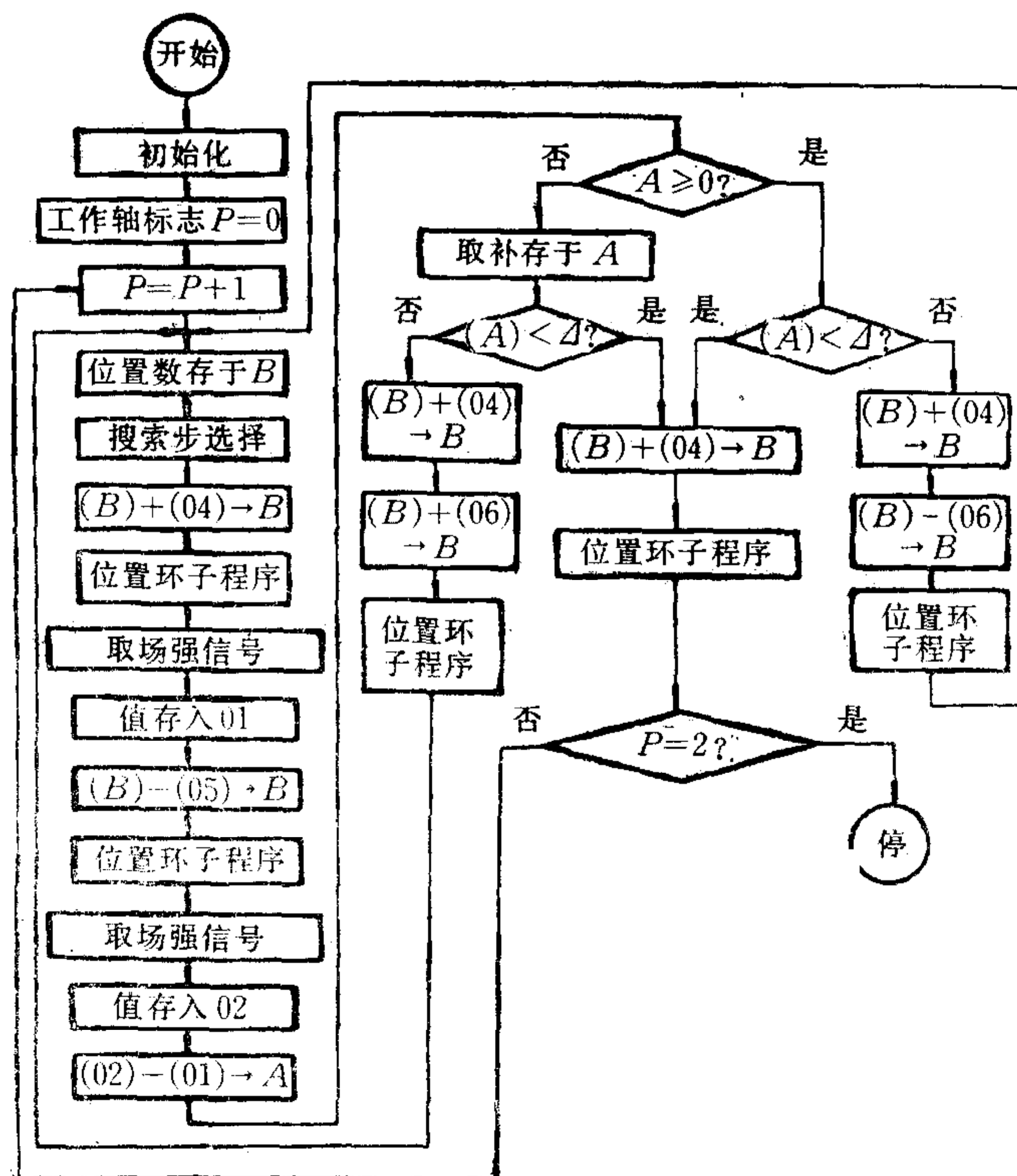


图5 变调整步式步进跟踪程序框图

由于 E_m 实际上有变化, 为保持 $\theta_i = -\Delta E(\theta_i)$ 成立, 可有两个办法. 一是调整增益使极大值点电压在 A/D 变换器输入上保持不变; 另一个办法是搜索步距随最大场强电压变化而变化. 作者采用了后者. 为了方便只分了两档, 而且认为天线本来离极大值点不远, 开始所测得的电压即表示了极大值的大小. 计算和实验证明这样可以达到所要求的精度.

此种方式可简称为变调整步式步进跟踪. 微计算机实现的程序框图如图 5 所示. 闭环子程序、取数子程序、搜索步选择子程序框图略.

四、实验结果

上述四种极值跟踪在方位、俯仰两轴上的跟踪程序已调好. 作者在单轴实验台上分别对两个轴做了实验, 有专门的电路模拟天线波束特性, 在极大值点附近成为抛物线特性. 在实际使用中曾发现, 接收机输出电压中每秒几周的干扰信号较强, 所以实验中人为地在对象输出电压上加入 2Hz 的干扰. 为了适用于船用条件, 在做双向搜索等调整步式步进跟踪和变调整步式步进跟踪时, 还做了 2Hz 干扰和 0.08Hz 干扰同时加入的实验. 只有 2Hz 干扰时, 取数时间 2 秒、取数 256 次求平均(记忆跟踪中, 把一段时间内所记的极大值总大于瞬时值, 其差总大于某一个值做为反向条件, 可有效地克服这种干扰). 而再加入 0.08Hz 干扰时, 取样时间 1 分钟、取样 64K 次求平均. 实验结果证明, 可以有效地克服上述干扰.

实验记录了各种情况下的跟踪过程波形图, 由数字电压表和打印机打印记录了大量数据. 跟踪过程波形图情况很多, 介绍和说明要较大篇幅, 本文不赘述, 只列出打印数据分析后的一些典型结果, 如表 1 所示. 实验时极大值电压为 5 伏. 计算可知, 这些结果很好地满足了一般设备的要求.

表 1 实验数据

项 目 跟踪方式	极大值电压 (伏)	跟踪完成后 与极大值电 压 差 (伏)	θ_i/θ_{hp}			等效增益损失 (db)		
			不细分	细分 1:2	细分 1:4	不细分	细分 1:2	细分 1:4
记忆极值跟踪	5	0.02	0.0537	0.0380	0.0269	0.0348	0.0174	0.00869
同一步式步进跟踪	5	0.06	0.0931	0.0658	0.0465	0.105	0.0523	0.0261
等调整步式 步进跟踪	5	0.02	0.0537	0.0380	0.0269	0.0348	0.0174	0.00869
变调整步式 步进跟踪	5	0.01	0.0380	0.0269	0.0190	0.0174	0.00869	0.00434

表中的 θ_i/θ_{hp} 和增益损失是用公式(1)计算的.

由于跟踪是在靠近极大值附近进行的, 所以可只对上一半或更小一部分(如 1/4)进行处理, 以提高精度. 这可以用模拟电路对输入电压进行处理后进入 A/D, 也可以用高位

数的 A/D (例如 10 位) 只取低八位达到上述细分目的(计算机仍用八位的)。表 1 中列出不细分; 细分 1:2; 细分 1:4 的结果。对于卫星通信天线跟踪这几种处理比较适用, 受干扰的限制不能分得太细。

五、结 束 语

(1) 同一步式步进跟踪和等调整步式步进跟踪逻辑简单, 可用于一般情况。

(2) 变调整步式步进跟踪速度快, 精度高。它不仅需要判别方向, 还要计算出离极大值点的距离以确定调整步距。作者根据天线场强电压的公式, 提出计算方法。为简化程序, 又提出选择搜索步, 满足条件 $1/K_e \Delta\theta_i = 1$, 使计算简化。

(3) 记忆极值式跟踪的基本方法和理论在文献[1]中有论述, 但在天线跟踪中应用尚属少见。这种方法设备简单, 最大优点是电机不是一步一步地步进, 而是连续工作, 这对电机和传动系统要求降低, 尤其对齿轮间隙要求降低。作者提出这种方式用于卫星通信陆用移动站比较合适, 并曾用一般电子电路实现了它, 用于具体设备, 效果良好。作者在原来工作的基础上, 本文中又给出了用微计算机实现的方法, 这比一般电子电路更方便、灵活、精度也提高了。

本所张慎安、高春英同志参加了研制和试验工作。

参 考 文 献

- [1] 钱学森、宋 健, 工程控制论, 科学出版社, 1980 年。
 [2] Tom, N. N., and Heckert, G. P., Step-Track a Simple Autotracking Scheme for Satellite Communication Terminals, ALAA 3rd Communications Satellite Systems Conference, 1970.

A SELF-OPTIMIZING CONTROL SYSTEM USING A MICROCOMPUTER

ZHAO JINGWEI

(Communication, Telemetry and Telecontrol Research Institute, Ministry of Electronics Industry)

ABSTRACT

A self-optimizing control system for antenna automatic tracking is described in this paper. In this system, a microcomputer is used. Flow charts of four control methods for different cases are presented. Experiment results are given.