

基于采样周期可变的控制策略

曹 斌 陈 龙

(中国科学院自动化研究所, 北京 100080)

摘 要

为减少环境等因素变化对控制系统的不确定性影响, 本文从正确反映输入输出的变化出发, 提出了采样周期可变的控制策略及实现方法, 以达到可靠控制、实时报警和节省资源的目的, 使系统抗干扰能力更强, 性能更优越。

关键词: 采样周期, 阈值范围, 自适应控制, 系统资源。

一、前 言

对于任何能控可观测系统而言, 系统的特性均是通过输入输出的变化来表征的。要获得理想的控制效果, 首先必须正确地测试输入和输出, 了解系统的运行情况, 然后通过某种控制手段, 使系统在某些指标函数下控制效果达到最优或实现预期的目的。输入输出数据能否真实地反映系统输出, 是求得控制准确与否的关键。就数字控制系统而言, 本文对其过程输出的了解是通过有限的采样点来实现的, 相邻采样点之间的信息在采样过程中被忽略掉了, 因而采样周期的大小将直接影响控制的精度, 理论上采样周期可以通过极小化 D -最优准则求得^[1], 但却计算复杂, 难以在工程中应用, 且受随机扰动的影响大。因此, 工程实践中多是根据下列准则来选择固定的采样周期^[2,3]:

- 1) 满足 Shannon 采样定理, 通常取采样频率为闭环系统频带的 5—15 倍;
- 2) 能够及时地检测到系统的扰动和指令信号的变化, 通常在系统的响应中, 一个振荡周期内至少采样 6—10 次, 在系统阶跃响应的上升时间内至少采样 2—4 次;
- 3) 保证系统有足够的响应速度;
- 4) 尽量节省系统资源(包括计算机硬件和软件资源, 执行机构的磨损, 能量消耗等)。

但是, 在实际过程中, 环境及干扰对系统的影响总是不可避免, 而且系统本身的特性也会在运行过程中发生变化, 常常具有某些非线性、分布性和随机性, 这可能使系统的时间常数发生不同程度的变化, 输出变化可能振幅加大, 频率增快; 也可能反之。如果采样周期保持不变, 那么在前一种情况下, 输出变化出现的重要信息在各采样点之间很可能会

被遗失掉,使采样值不能真实反映系统的输出,导致控制效果的降低,甚至有可能造成系统的完全失控;而对后一种情况,尽管采样值能反映系统输出的变化,但采样却可能显得过频和多余,从而造成系统资源的浪费.因此,从获得可靠信息、安全运行和节省资源来考虑,有必要考虑采样周期的可变.

二、改变采样周期的考虑

目前,实现控制的策略或手段主要有:1)改变系统的输入作用;2)根据控制要求适时地改变或调整控制器的参数;3)借助于一些逻辑判别规则,在必要时改变控制器的结构;4)改变控制作用方式;5)结合人工智能的思想,实现智能控制等.但其前提均是系统的采样频率不变.

对于多回路控制系统,由于各个回路的频率特性各异,时间常数不同,因此在控制中选取同一采样频率显然难以使控制理想,常用的方法是对不同回路选取与之相应的采样周期^[3].同样,为能了解在采样瞬时之间的系统特性,可采用高速采样率(是正常采样率的整数倍),而有时为了压缩数据量,降低存储要求,则以比正常采样率低整数倍的速率进行采样(称为跳跃采样)^[4].是否可以通过“自适应”地改变采样周期来提高系统的控制效果呢?笔者认为答案是肯定的.

采样周期可变作为实现系统控制的一种途径,乃是把采样周期也作为自适应控制中的被调参数,通过对不同时刻系统输出信号状况的采样获取,经由计算机系统自动判别当前系统状态及可能的变化趋势,然后通过相应地减小或增大采样周期来予以证实和评估,并根据评估结果,维持系统在新采样频率下的运行,或者通过其它的控制手段来实现系统的优化控制,或者对系统处在恶劣状态时予以报警.这样,在一定时间范围内,改变了控制的自由度.当采样周期变小时,将更能响应系统输出的快速变化或突变,提高系统的快速反应性和实时性;相反当采样周期变大时,则能在满足系统控制的前提下,更有效的压缩数据、节省系统资源.因此,采样周期的可变不失为一种有效的辅助控制手段.

现代的工程实践已提出了变采样周期的要求,不仅在导弹等高速飞行器控制中,由于导弹点火发射及弹头进入大气层时信号变化剧烈,而在导弹平飞阶段信号比较平稳,因而要求实时改变采样周期以改善响应速度、提高命中率和节省燃料;而且在民用控制中也提出了变采样周期的要求,以提高质量、节省资源.现举例说明.

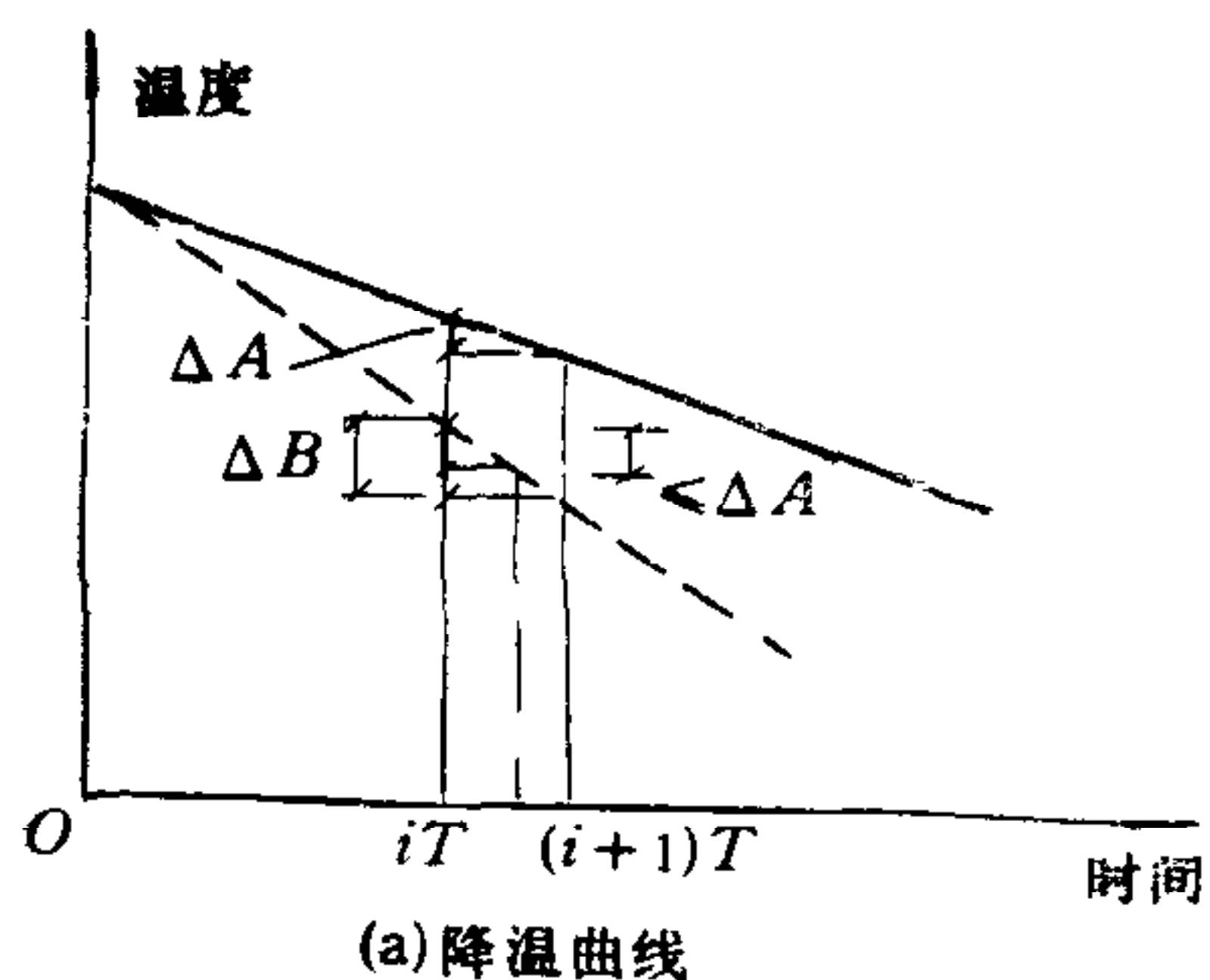
例 1. 光学镜头降温冷却过程控制.

光学镜头的成形过程在高温制成玻璃坯料后,为了保证光学晶格的均匀性,不出现微小的气泡,需要逐日精确的降温,降温周期长达一年或数年,降温曲线如图 1 中(a)所示.控制要求是在单位时间周期 T 内,温度的下降幅度 $< \Delta A$,且应均匀改变.但是,如果温控系统变化或干扰使得温度曲线偏离,如图 1(a)中虚线所示,那么在单位时间 T 内温度的变化就变为 $\Delta B > \Delta A$,超过了控制要求,此时如果系统能适时地减小采样周期,则可重新使 $\Delta B < \Delta A$,从而满足温度控制的要求,保证产品的合格性.

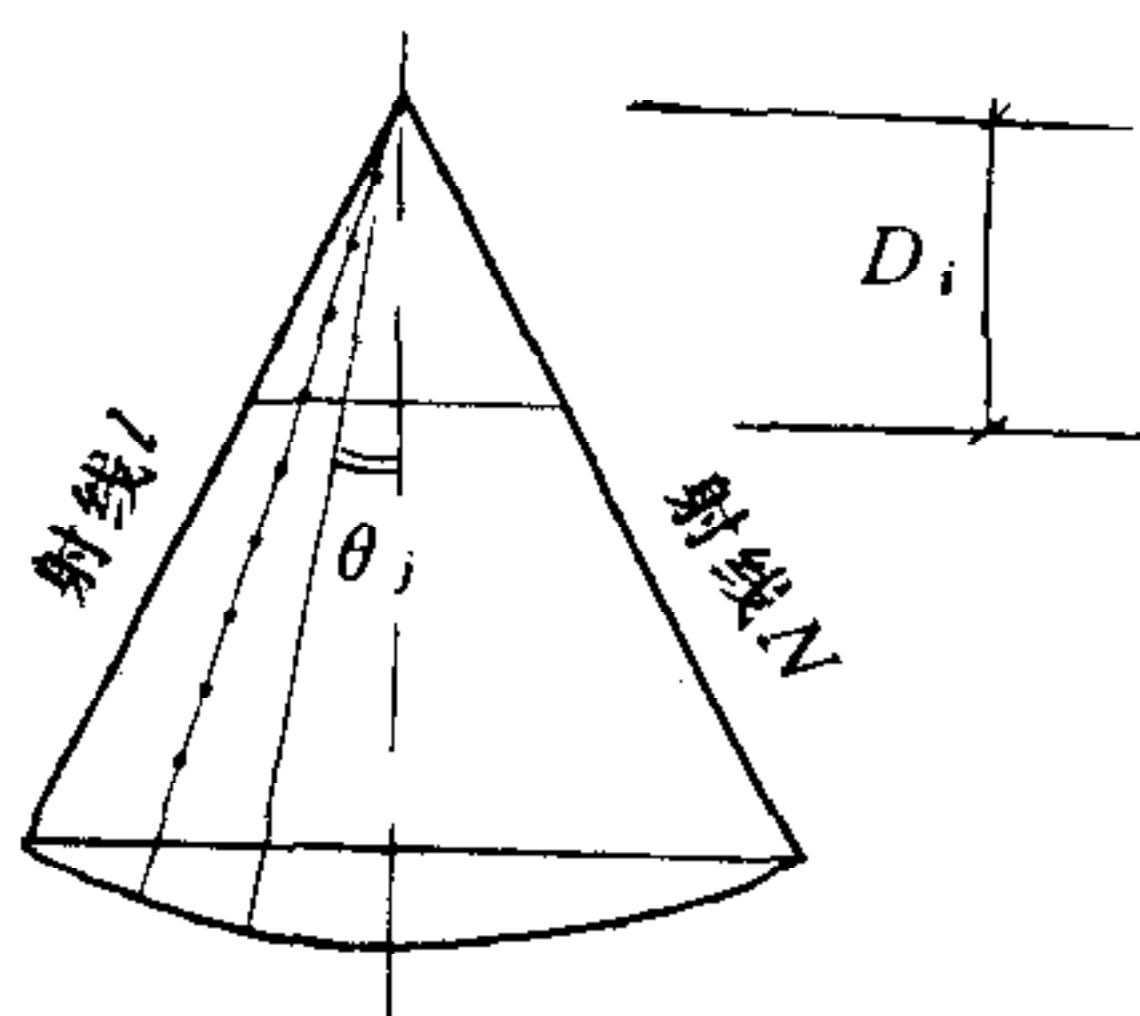
例 2. 超声波扫描诊断装置中的数字扫描转换器.

在对人体作 B 型超声扫描检查时,接收来自体内不同组织的反射回波信号将随扫描

深度 D_i 而变化,扫描在扇形内重复,如图 1(b)所示,此时如果采样空间采用 $Y-\theta$ 混合坐标系,并且对每条射线(它与扇形中线有着不同的夹角 θ_i)采用等 y 值采样,那么最终显示的图象将是扇面上端密成一片而下端稀疏的无法令人满意的诊断图象,现今的作法是对每条射线的采样点再作重采样处理——即对不同深度上的射线上端采样点按一定的规律删去不用,而对扇面下端随扫描深度不同在各条射线之间作不同的插值点处理以增加显示点数,从而得到适用的临床诊断图象。因此,如果不同射线上的采样间隔时间以 D_i 和 θ_i 的某个函数值变化而作可变采样并在不同的射线之间作适当的插值处理,那么则可省去上述重采样过程而直接供显示成象。



(a) 降温曲线



(b) 扇形扫描曲线

图 1

三、采样周期的改变策略分析

定义. 给定系统控制误差 $e > 0$, 总存在着 $b > a > 0$, 使得当采样周期 $T_i \in [a, b]$ 时, 总有

$$\int_t |y_s(t) - y_s^*(t)| dt < e$$

成立, 即由输出采样值 $\{y_{s_i}\}$ ($i = 1, 2, \dots$) 作指定的曲线拟合所得曲线 $y_s^*(t)$ 能够在规定的误差范围内复现实际系统的输出 $y_s(t)$, 则称区间 $[a, b]$ 为采样周期所允许的阈值范围。其中 a 受执行机构响应速度以及计算机计算处理时间和速度极限的制约, 而 b 由采样定理和对系统的控制精度要求决定。

实际系统的输出变化多种多样, 但从了解系统特性变化目的出发, 笔者只对那些振幅、振荡性都发生了变化的情况感兴趣, 而对其余的变化, 原有的采样周期就足以能反应了。

对于在 T_i 周期下采集到的样本 $\{y_{s_i}\}$ ($i = 1, 2, \dots$), 每隔 $N1$ 步校验 1 次, 其样本平均值和样本方差分别是 y_{s_a} , S_{s_i} 。设 T_r 为采样周期改变成 T_i 前的采样周期, 其相应的采样序列为 $\{y_{r_i}\}$ ($i = 1, 2, \dots$), 对应的样本平均值和样本方差分别为 y_{r_a} , S_{r_i} 。那么, 可通过对 y_{s_a} , S_{s_i} 和 y_{r_a} , S_{r_i} 的比较来判别输出幅值的变化状况; 另一方面, 对于系统的振荡性则可通过输出 y_{s_i} 和 y_{r_i} 的导数之符号变化次数 (分别记为 F 和 F^*) 以及输出与样本均值之差 $(y_{s_i} - y_{s_a})$, $(y_{r_i} - y_{r_a})$ 的符号变化次数 (分别记为 G 和 G^*) 来判别。 F 和 F^* 反映了输出的振荡情况, 而 G 和 G^* 反映了 $N1$ 步内输出穿越均值 y_{s_a} 和 y_{r_a} 的振荡。这样

1) 当 $G > G^*$, $F > F^*$ 时, 说明输出的振荡已经增强了, 但是否改变采样周期, 还应看振幅的变化情况:

(a) 如果 $S_{s_i} > S_{r_i}$, 则其振幅加大了, 这时输出变化趋于复杂, 所以应减小采样周

期,增加一定时间内的采样值,如图2中曲线a(图中粗线表示正常情况下系统的输出);

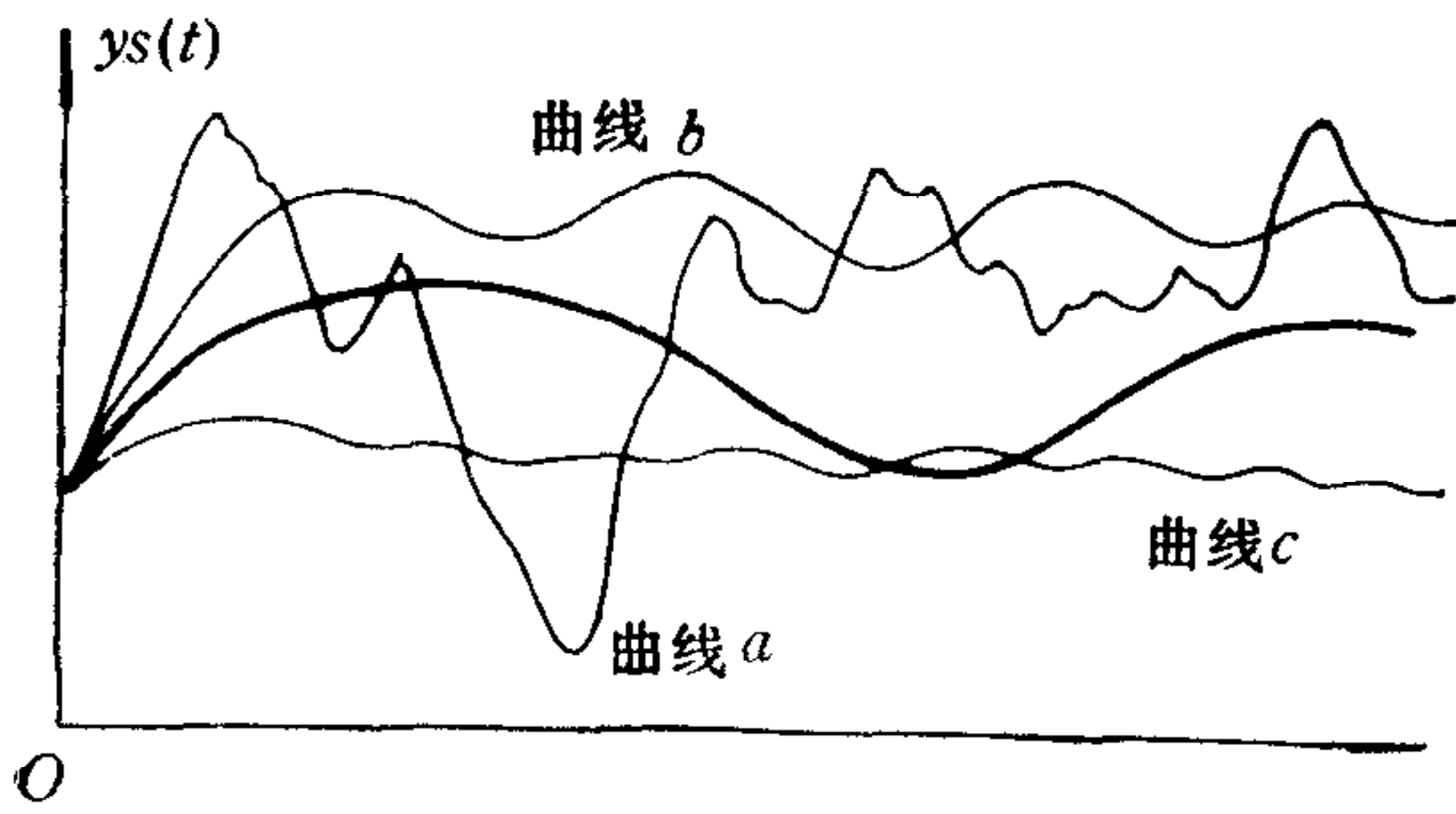
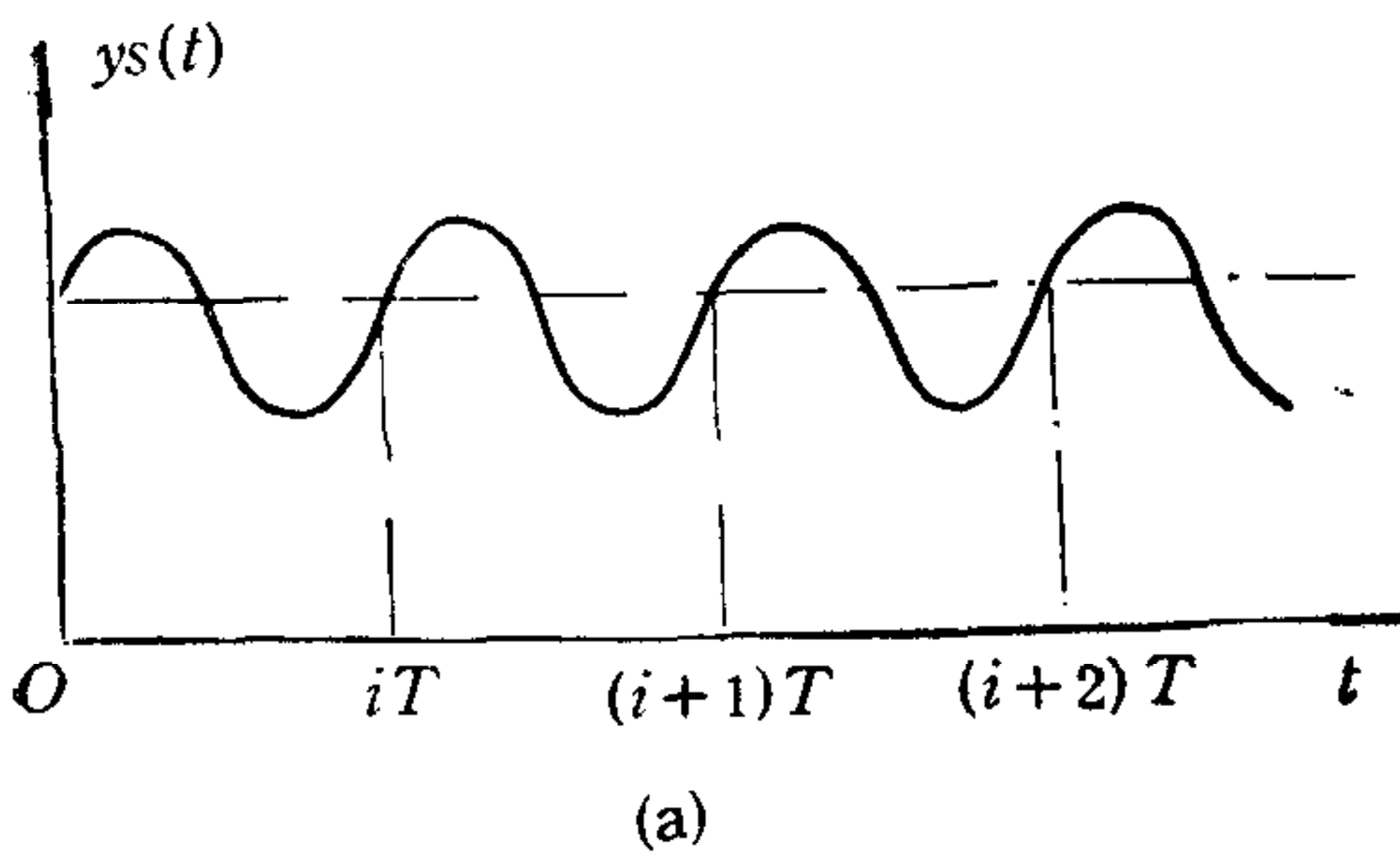


图 2

(b) 给定 $\epsilon > 0$, 如果 $\epsilon < S_r < S_s$, 那么在这种情况下,尽管振荡加强了,但幅值变化却很有限,如图2中曲线b. 因此,是否改变采样周期应根据控制精度的要求决定,如果精度要求高,可以考虑减小采样周期;

(c) 如果 $S_r > \epsilon > S_s$, 则现有采样周期足以反应输出的变化,而不必改变采样周期,见图2中曲线c. 但是,在这种情况下,采样周期有可能等于输出的自然振



(a)

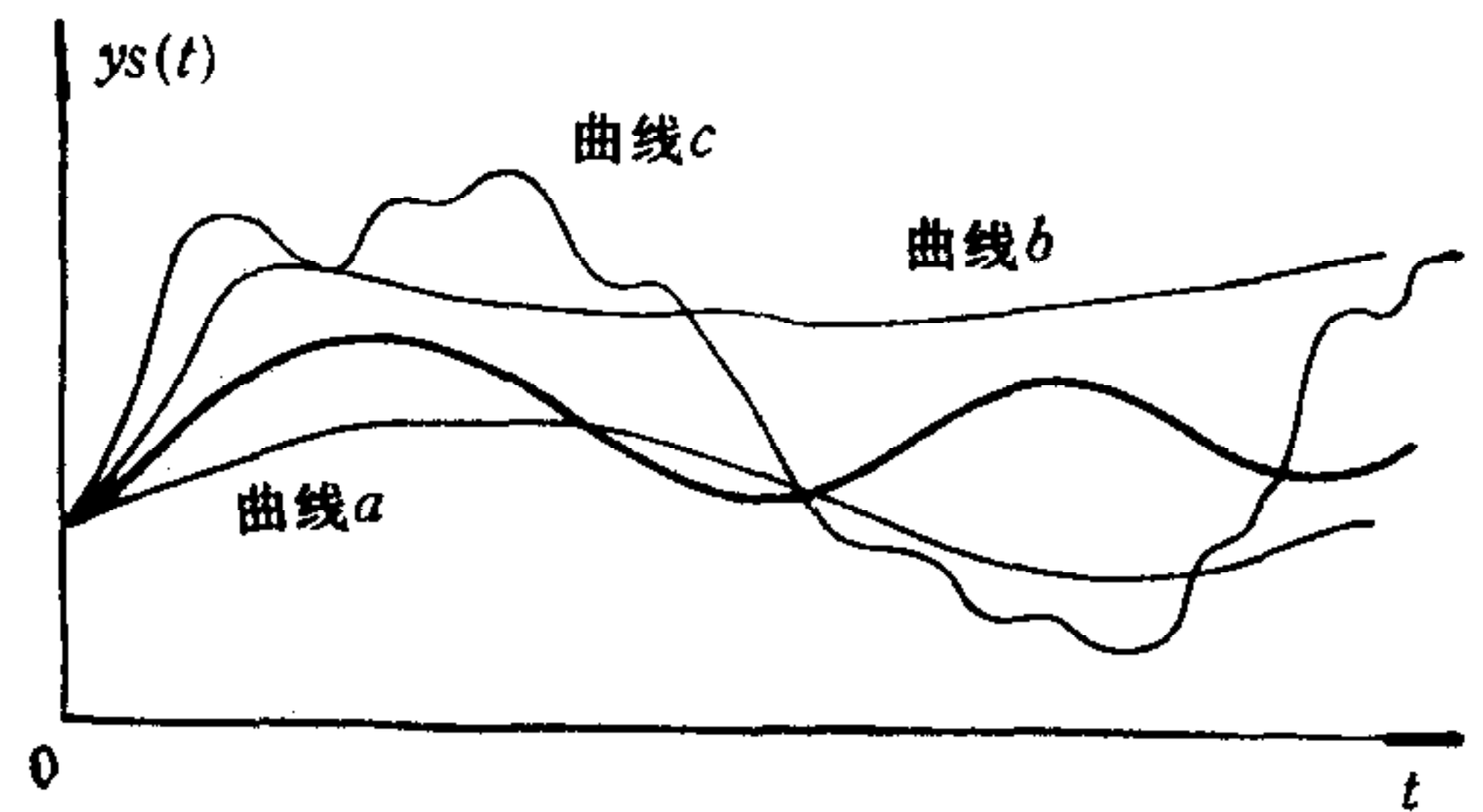
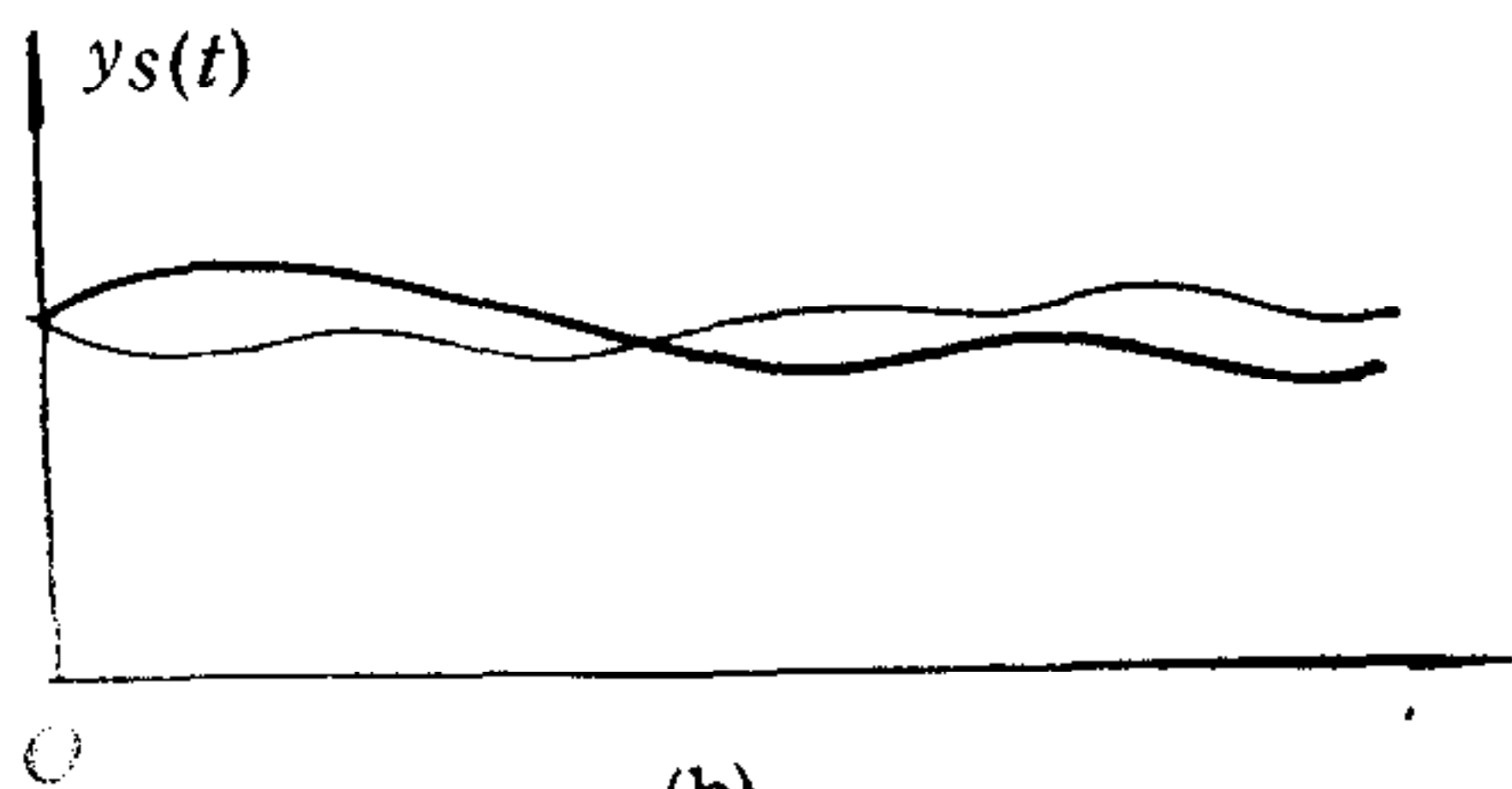


图 4



(b)

图 3

荡周期(如图3(a)所示),因此实际中应减小采样周期,取后N1个采样值来分析核实.如又得到同样的结果,则需考虑两组采样值之间的差值,差值超过规定的极限,则说明发生了上述极端情况,否则可以肯定不用改变采样周期;

(d) 如果 $|S_r - S_s| < \epsilon$, S_s 为规定的某个较小数值,那么输出趋向于平滑的线段,此时应增大采样周期,如图3(b)所示.

2) 当 $G < G^*$, $F < F^*$ 时,表明振荡性已减弱,如图4中的曲线a,或振荡性已消失,如图4中曲线b,此时系统输出变化较平稳,故应加大采样周期.

3) 当 $G < G^*$, $F > F^*$ 时,曲线就其局部来讲,振荡加强了,然而就其整体来讲,却变化缓慢,如图4中曲线c. 此时是否改变采样周期,应根据控制精度的要求决定,如果精度要求高,可以考虑减小采样周期.

4) 其余情况: 由于正常情况下的采样周期能够反应输出的变化,因而不用改变采样周期.

四、变采样周期的一种递推算法

针对前述的变采样周期策略,本文提出如下递推算法. 设系统采样周期的初始值为

T_0 ,在对现有的 $N1$ 个采样值进行在线分析时,将以前 $N1$ 个采样值作为参考,每次采样周期的改变量为 ΔT , 因此有:

$$T_s(j+1) = \begin{cases} T_s(j) - \Delta T, & \text{当 } F > F^* + c_1, G > G^* + c_2, \\ & S_s > S_r + c_3 \text{ 或 } \varepsilon < S_s < S_r - c_4 \\ T_s(j) + \Delta T, & \text{当 } F < F^* - c_1, G < G^* - c_2, \\ & \text{或 } |S_s - S_r| < \varepsilon, S_s = c_5, \\ T_s(j) - \Delta T, & p = 1, \text{ 当 } F > F^* + c_1, G > G^* + c_2, \\ & p = 0, S_r > \varepsilon > S_s, \\ T_s(j) + \Delta T, & p = 0, \text{ 当 } F > F^* + c_1, G > G^* + c_2, \\ & p = 1, S_r > \varepsilon > S_s, \\ T_s(j), & \text{其余情况.} \end{cases}$$

其中 p 为标志。当 $p = 0$ 时,表示目前采样周期值可能等于系统输出的自然振荡周期值,为了核实这种情况,令 $p = 1$,减小 1 次采样周期值,再取下 $N1$ 个采样值进行分析,并作进一步的判断。 $\Delta T, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ 为经验数据,根据工况变化和实际情况具体选定, ΔT 可取固定值,也可随比较结果而变化。当然,采样周期的变化只能局限在采样允许的范围 $[a, b]$ 内。仿真结果表明,这种算法的效果令人满意。

采样周期可变的控制策略对那些需要快速响应、控制精度要求高或安全性要求严格的系统来讲具有重要的意义,计算机技术为采样周期的可变提供了可行的条件。尽管它本质上仍然是一种辅助的控制手段,但随着计算机技术的急速进步和变采样周期算法的改善,其优越性会更显现,对寻求自适应控制的新方法将注入新的活力。

参 考 文 献

- [1] Goodwin, G. C, Payne, R. L, Dynamic System Identification-experiment Design and Data Analysis, Academic Press, New York, 1977.
- [2] 孙增祈,计算机控制理论及应用,清华大学出版社,1989.
- [3] 李清泉,自适应控制系统理论的设计与应用,科学出版社,1990.
- [4] Tretter, S. A., 王平孙译,离散时间信号处理导论,高等教育出版社,1983.

CONTROL STRATEGY BASED ON THE CHANGE OF SAMPLING PERIOD

CAO BIN CHEN LONG

(Institute of Automation, Academia Sinica, 100080)

ABSTRACT

In order to reduce uncertainty to a control system, and evaluate correctly the change of input and output in the system, a new control strategy based on changing the sampling period is proposed and the corresponding identification method is presented so as to enhance the system's capability against the disturbances, and provide an instant alarm against potential danger and save the resources.

Key words: Sampling period; adaptive control; system resource; threshold.