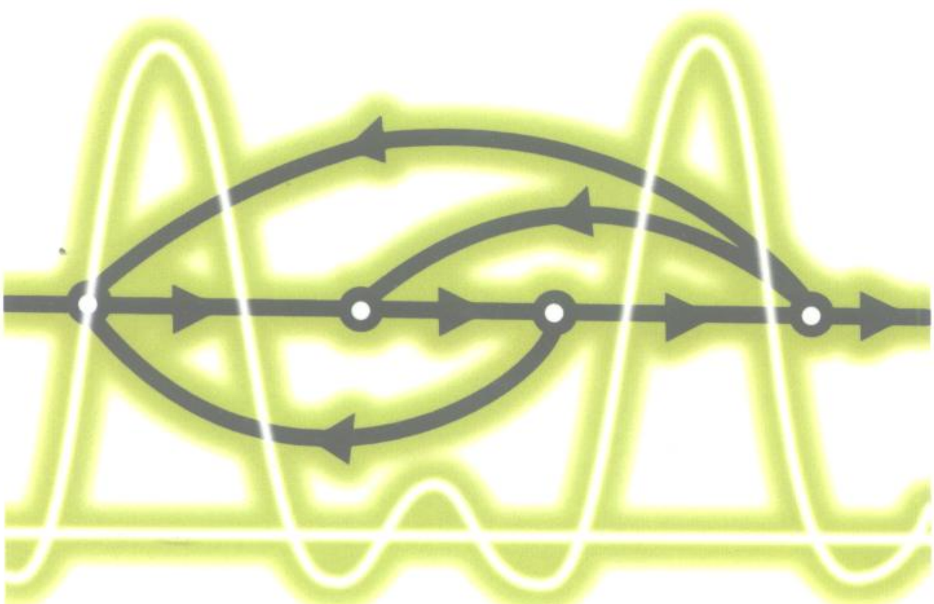
高等院校选用教材系列

"信号与系统"上机实验

胡光锐 吴小滔 编著



科学出版社

“信号与系统”上机实验

胡光锐　吴小滔　编著

科学出版社

1999

内 容 简 介 EA13/15

本书包括了信号与系统计算机辅助分析（CAA）的29个实验项目，对实验目的、算法概要、程序框图、变量表示与程序用法都进行了说明，并附有每个实验的参考程序清单及结果.

本书选材得当、编排合理、内容先进、实用性强，对于培养实验研究能力、创新能力和解决各种实际问题大有裨益.

本书按照高等工业学校信号与系统课程基本要求编写而成，可供通信及电子类专业的大学生作为信号与系统课程的教材使用，也可供有关科技人员参考.

图书在版编目（CIP）数据

"信号与系统"上机实验/胡光锐，吴小滔编著．-北京：科学出版社，1999.9

ISBN 7-03-007400-9

Ⅰ.信… Ⅱ.①胡… ②吴… Ⅲ.信号系统-计算机辅助分析-实验 Ⅳ.TN911

中国版本图书馆CIP数据核字（1999）第07242号

科学出版社 出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码：100717

丽源印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1999年9月第一版 开本：787×1092 1/16
1999年9月第一次印刷 印张：11
印数：1—3 000 字数：249 000

定价：15.00元

（如有印装质量问题，我社负责调换（北燕））

前　言

“信号与系统”是电子工程与信息类专业的一门重要的专业基础课，也是国内各院校相应专业的主干课程.

当前，科学技术的发展趋势既高度综合而又高度分化，这要求高等院校培养的大学生，既要有坚实的理论基础，又有严格的工程技术训练，不断提高实验研究能力、分析计算能力、总结归纳能力和解决各种实际问题的能力. 21世纪要求培养“创造型、开发型、应用型”人才，即要求培养智力高、能力强、素质好的人才 .

学生能力的培养是一个至关重要的问题，需经过一个循序渐进、反复深化的过程，需要各门课程各个环节统一协调、分工融合 .按照教学计划，大多数学校电子信息类专业的“信号与系统”课程都安排在大二下学期进行，而这一学期正好是上机实验“断线”的一个学期 .因此，“信号与系统”课程的上机实验成为素质与能力培养的重要一环. 它一方面解决了大学低年级理论课较多而实验课较少的不协调情况；另一方面，通过实验，学生利用课堂上学到的基本概念来理解实际的系统，以及早些引入信号处理的概念，为后续课程打下坚实的基础，更好地适应社会需要.

为了加强“信号与系统”课程的实验教学，在上海交大课程建设小组的支持下，在本系研究生和有关同志的协助下，我们共开发了29个信号与系统实验项目，其中综合性、设计性实验占了相当的比例. 我们建议，可选择本书中的实验18—19，22，26—29作为综合设计性实验，读者可按照实验目的与参考算法，自行编写相应的程序上机，也可参考附录中的程序，改编并开发更强的功能后上机. 由于时间限制，读者不可能将我们开发的29个实验项目全做完，因此除去必修的实验项目（建议必修实验为实验1～12）外，其他均是选修性实验，选修实验较必修性实验难度高，内容更加广泛，这为培养和发挥学生的主观能动性和学习自觉性创造了条件，必修实验与选修实验以及综合设计实验的划分随班级的性质和要求，可自行选择与划分.

美国Carnegie Mellon大学（CMU）在1993年为大学生提供一个在任何时间都可以进行“信号与系统”实验的环境，即可以在实验室开放时间以外的时间进行实验，称为虚拟实验室（Virtual Lab见ICASSP - 93，pp. l—36）.在此思想启发下，我们的开发采用了虚拟技术，能满足虚拟实验室要求的“信号与系统”教学实验任务，可以使大学生更加主动，合理地安排时间来解释实验结果，以及解答实验中的问题.

读者在做完每个实验后，必须写出详细的实验报告，包括实验方法、实验过程与结果、心得和体会、源程序和打印结果等.

本书可作为电子工程、信息工程、通信、计算机、自动化等专业的大专院校实验教材使用，也可供广大科技人员参考.

在本书编写过程中，马成炎、唐超等同志以及李祖新、顾晓莲、潘琳、李琦、鲁云华等同学为开发实验项目进行了许多工作，吴小滔同志用 Turbo C 2.0 语言编写了本书的全部参考程序. 在写作过程中，参阅了大量国内外作者的论文与著作，特别是本书参考书目中列出的论著，在此一并深表谢意.

由于作者水平所限，编写时间仓促，对书中错误和不足之处，欢迎读者批评指正.

作　者

1998年12月

目　录

实验一　计算单位阶跃响应的上升时间

一、实验目的

计算单位阶跃响应从 10%至 90%的上升时间.

二、算法概要

针对单位阶跃响应的抽样序列,我们计算其单位阶跃响应的上升时间.取样间隔时间为 delta,抽样序列 $f(i), i=1,\cdots,N$.

要计算的是从 10% 至 90% 的上升时间,因此,需对 $f(i)$归一化,即用 $f(i)/f(N)$代换 $f(i)$,我们记录下 $f(i)/f(N)=0.9$,i 的序号 t_2,$f(i)/f(N)=0.1$,i 的序号 t_1,则上升时间 $t_r=(t_2-t_1)*$ delta.

三、程序框图

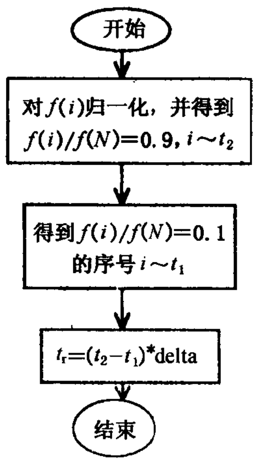


图 1.1　实验一框图

四、变量说明

delta	抽样时间间隔
t_r	响应的上升时间
n	抽样数
$f(i)$	抽样数组

五、程序用法

如我们获得某一阶跃响应曲线，则可对其曲线进行抽样. 改变数据块 f 的数据，即可获得响应的上升时间.

六、实验程序（见附录 1）

实验二　计算单位阶跃响应过冲

一、实验目的

计算单位阶跃响应过冲.

二、算法概要

响应过冲 $Os=\dfrac{a(t)_{\max}-a(\infty)}{a(\infty)}$.

我们对单位阶跃响应曲线进行抽样，获得抽样数组 $f(i)$，$i=1,\cdots,N$. 用 $f(N)$ 代替 $a(\infty)$，$a(t)_{\max}=f(i)_{\max}$，所以

$$Os=\frac{f(i)_{\max}-f(N)}{f(N)}$$

三、程序框图

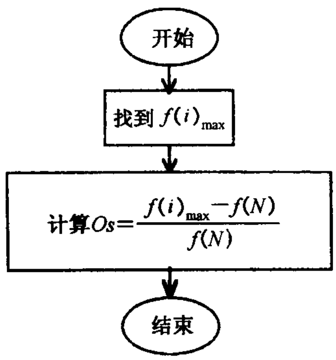


图 2.1　实验二框图

四、变量说明

$f(i)$　　抽样数组

n　　抽样数

Os　　起始为数组中数值最大者,结束时为响应的过冲

五、程序用法

若我们获得某一阶跃响应曲线,则对该曲线进行抽样,改变数据块数据,即可获得阶跃响应的过冲.

六、实验程序(见附录2)

实验三　计算自相关函数

一、实验目的

计算自相关函数.

二、算法概要

$x(t)$的自相关函数 $R_x(\tau) = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{2T}\int_{-T}^{T}x(t)x(t+\tau)dt$. 我们讨论实际信号时,一般 $x(t)=0, t<0$,则上式变为 $R_x(\tau)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{2T}\int_{0}^{T}x(t)x(t+\tau)dt$.

若选择某一较大的 $T=T_0$ 则 $R_x(\tau)=\frac{1}{2T_0}\int_{0}^{T_0}x(t)x(t+\tau)dt$.

若 $N\geqslant N_T+k$,而 $N_T>=(T_0/\Delta t)+1$ 的整数,$\tau=k\Delta t$.

现假定有 N 个 x 值的取样序列 $x_1,x_2,\cdots,x_N$,则上式变为

$$R_x(k\Delta t) = \frac{1}{2T_0}\left[\sum_{n=1}^{N_T}x_n x_{n+k}\Delta t - \frac{x_1x_{k+1}+x_{N_T}x_{N_T+k}}{2}\Delta t\right]$$

若 $T_0\approx\Delta t(N_T-1)$,则

$$R_x(k\Delta t) = \left[\sum_{n=1}^{N_T}x_n x_{n+k} - \frac{x_1x_{k+1}+x_{N_T}x_{N_T+k}}{2}\right] * \frac{1}{2 * N_T - 2}$$

三、程序框图(见图3.1)

四、变量说明

$x(n)$	抽样数组
k	自相关函数 $r_x(\tau)$时间 τ 的间隔数 $\tau=k\Delta t$
nt	相关项数
r	程序结束为相关函数值

五、程序用法

对某一时间函数进行抽样、改变程序中数据块数据.即可获得所要求的自相关函数

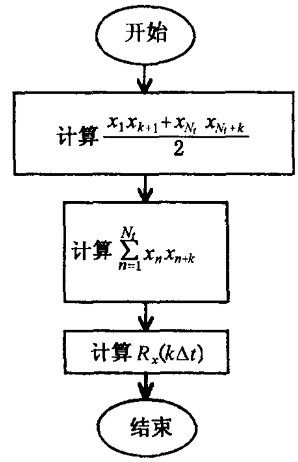


图 3.1　实验三框图

值.若求 K 个,则需在主程序中设置一个循环语句,求得当 $k=1,\cdots,N$ 时的自相关函数值.

六、实验程序(见附录 3)

实验四　sinc 函数的积分计算

一、实验目的

本实验程序用于计算一个函数的定积分.

二、方法

该程序是运用梯形法则来计算积分的.在梯形法则中,曲线由互相衔接的直接段来近似,而这些线的交点都落在曲线上,假如要计算 $y=\int_{x_a}^{x_b} f(x)dx$.

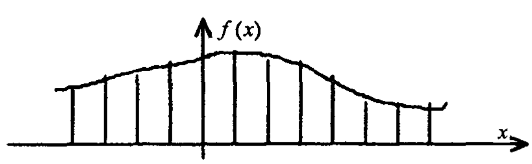


图 4.1　$f(x)$图形

区间 x_a 到 x_b 分成等宽度的 N 个面积,令面积的"宽度"为

$$\Delta x = \frac{x_b - x_a}{N}$$

然后作如下规定：

$$x_0 = x_a,$$
$$x_1 = x_0 + \Delta x,$$
$$x_2 = x_0 + 2\Delta x,$$
$$\cdots\cdots$$
$$x_k = x_0 + k\Delta x,$$
$$\cdots\cdots$$
$$x_N = x_0 + N\Delta x = x_b$$

在每对相邻的 $f(x_k)$和 $f(x_{k+1})$之间作直线段,用这些直线段来近似曲线 $f(x)$,这样积分可由直线段下的面积来近似.一般来说,N 增加,近似精度提高.

$$\int_{x_a}^{x_b} f(x)dx = \left[\frac{f(x_0)+f(x_1)}{2} + \frac{f(x_1)+f(x_2)}{2} + \cdots + \frac{f(x_{N-1})+f(x_N)}{2}\right]\Delta x$$
$$= \sum_{n=0}^{N} f(x_n)\Delta x - \frac{f(x_0)+f(x_N)}{2}\Delta x$$

三、参数说明

该程序主要参数有 $f(x)$——待积分函数,x_0——积分下限,x_N——积分上限,这些都是给定的,还有一个步长数 N:是由积分要求的精度和时间综合考虑的,一般 N 越大,积分结果越精确,计算时间越长.

四、程序使用说明

把给定的 $f(x)$写在函数 $f(x)$之内,在主函数内给 x_0,x_N 赋值,选定步长 N 即可.

五、实验程序(见附录 4)

六、程序框图(见图 4.2、图 4.3)

实验 4 程序框图

主函数

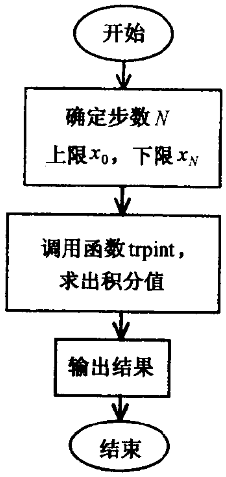


图 4.2　主函数框图

函数 trpint 程序框图

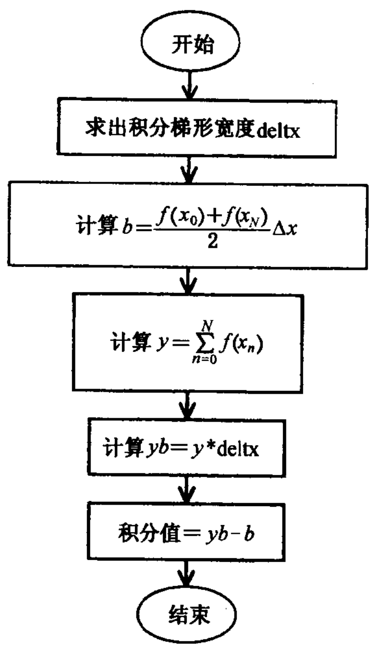


图 4.3　实验四框图(trpint)

实验五　罗斯稳定性准则

一、实验目的

检验系统的传递函数 $H(s)=\dfrac{N(s)}{D(s)}$ 中 $D(s)$ 是否为 Halwize 多项式.

二、算法概要

$$D(s) = a_1 s^k + b_1 s^{k-1} + a_2 s^{k-2} + b_2 s^{k-3} + \cdots$$

现在构成以下阵列:

$$\begin{array}{lllll}
a_1 & a_2 & a_3 & \cdots & \\
b_1 & b_2 & b_3 & \cdots & c_j = \dfrac{b_1 a_{j+1} - b_{j+1} a_1}{b_1} \\
c_1 & c_2 & c_3 & \cdots & \\
d_1 & d_2 & d_3 & \cdots & d_j = \dfrac{c_1 b_{j+1} - c_{j+1} b_1}{c_1} \\
\cdots & \cdots & \cdots & \cdots &
\end{array}$$

该阵列(或余部)的第一项是否为正,与 $D(s)$是否为 Halwize 多项式为等效判据.

三、程序框图(见图 5.1)

四、变量说明

$a(n)$　多项式系数数列
$b(n)$　多项式系数数列
$g(n)$　余部数列
k　　多项式的最高幂次数

五、程序用法

改变程序中多项式系数数列 $a(n)$,$b(n)$及最高幂次 k,即可获得该多项式是否为 Halwize 多项式这一结论.

六、实验程序(见附录 5)

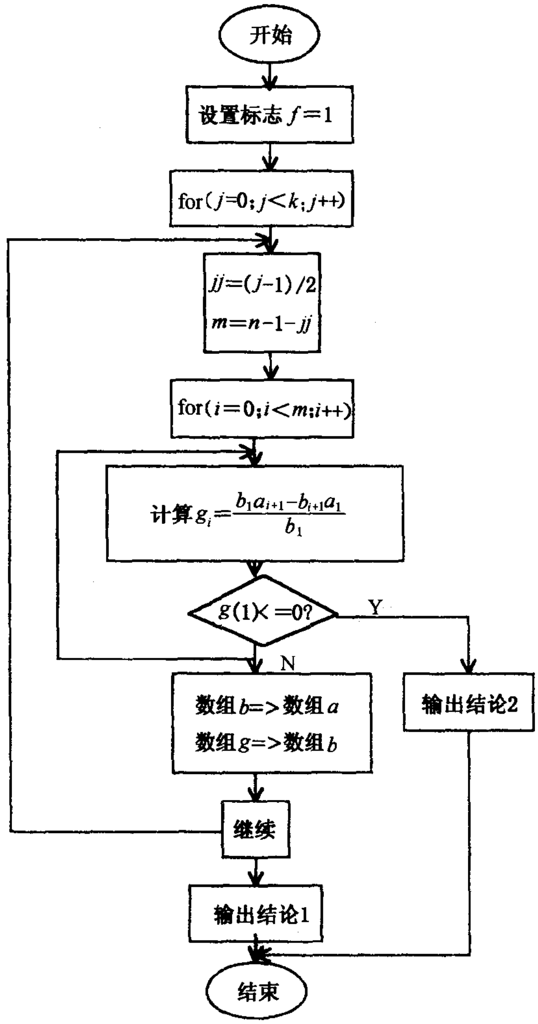


图 5.1　实验五框图

实验六　用于拉氏变换的留数计算

一、实验目的

本程序是一个计算留数的计算机程序，是为 LT 和反 LT 用的.

二、方法

这个程序适用于被积函数具有单极点的情况. 若有一个函数 $N(s)e^{st}/D(s)$，其中 $D(s)$ 是 S 平面有单根的多项式，且 $N(s)e^{st}$ 在 S 平面是解析的，那么其留数为

$$a_{-1}=\left.\frac{N(s)e^{st}}{\frac{d}{ds}D(s)}\right|_{s=s_0}$$

式中 s_0 是一个根;假定分母的根是已知的,现在看反变换积分:

$$f(t)=\frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty}F(S)e^{st}ds$$

假定极点都是单极点并引用约当引理,这样当 $t>0$ 时,$f(t)=\sum$在布拉米奇路径左边的 $F(s)e^{st}$的留数,假定 $F(s)$是 s 的两个多项式之比.这样

$$F(s)=N(s)/D(s)$$

那么对 $s=s_0$ 的单极点得到留数为

$$\text{res}=\frac{N(s_0)e^{s_0t}}{D'(s_0)}$$

对于 $D'(s_0)$可用专门子程序求得.

三、程序说明

函数 res 用于计算具有单极点的两个多项式之比的留数,函数 ploval 用于计算多项式的值,函数 pldriv 用于对多项式微分,函数 cmplxpow 计算参数 s 所指复数的 i 次幂,参数 re 指向计算结果;函数 cmplxdiv 进行复数除法,参数 r 指向计算结果.

四、参数说明

该程序需要分子多项式的系数——数组 a,分母多项式系数——数组 b,数组 c 表示分子多项式导数系数,还有分子最高幂,分母最高幂.另外还有分母多项式的单根 s_0.给出一个 s_0 可以求出一个 res(s_0).如有多个单根可以分别求得.

五、程序使用须知

对于一个 $f(s)=\dfrac{N(s)}{D(s)}$,可以先求出 $D(s)$的所有根后,分别为单根输入,求出 res(s)后相加而求得反变换积分.

六、实验程序及计算实例

本例中:$f(s)=\dfrac{s+4}{s^2+3s+2}$.

极点:$s_1=-1,s_2=-2$.

得出结果:res$(-1)=3$,res$(-2)=-2$.

实验七　低通巴特沃思滤波器的阶数计算

一、实验目的

该程序决定逼近低通滤波器的巴特沃思(Butterworth)滤波器的阶数.

二、方法

一个 n 阶归一化低通巴特沃思滤波器,其幅度函数为

$$|H(j\omega)|^2 = B_n(\omega) = \frac{1}{1+\omega^{2n}}$$

当 $n\to\infty$ 时,巴特沃思幅度函数趋近于理想幅度特性,当 n 增加时,在通带内幅度函数更接近于1,过渡带更窄,而且在阻带中幅度函数更接近于零,因此,n 是一个待选参数,以满足一组预先给定的通带和阻带的条件.当我们要构成一个归一化低通滤波器,满足通带要求 $|H(j\omega_L)|^2 > A_1$,阻带要求 $|H(j\omega_H)|^2 < A_2$,由 n 阶归一化低通巴特沃思滤波器的幅度函数为 $|H(j\omega)|^2 = \dfrac{1}{1+\omega^{2n}}$,因此,意味着要求满足 $\dfrac{1}{1+(\omega_L)^{2n}} > A_1$ 和 $\dfrac{1}{1+(\omega_H)^{2n}} < A_2$ 的 n.

三、程序参数

主要参数有四个 $\omega_H,\omega_L,A_1,A_2$. ω_H,ω_L 是利用赋值语句写入的,A_1,A_2 根据需要预先设置在比较语句中.

四、函数 btwn 的程序结构(见图 7.1)

五、使用说明

根据一组给定的条件,把 $\omega_H,\omega_L,A_1,A_2$ 写入即可.

六、实验程序及计算实例(见附录 7)

该例 $\omega_L=0.5,\omega_H=2.0,A_1=0.9,A_2=0.01$ 得出 $n=4$.

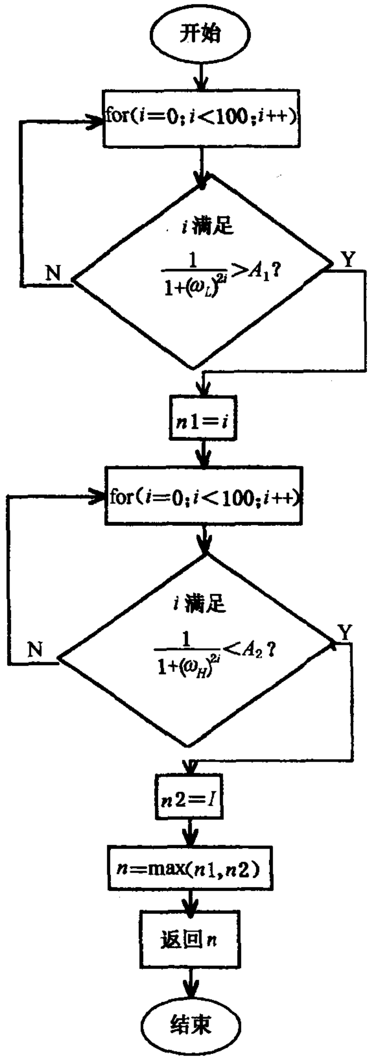


图 7.1　实验七框图

实验八　切比雪夫低通滤波器的阶数计算

一、实验目的

该程序决定逼近归一化低通滤波器的切比雪夫滤波器的阶数 n.

二、方法

n 阶切比雪夫滤波器的幅度平方函数