万方数据资源系统 WANFANG DATA (CHINAINFO)
武汉工业大学学报
JOURNAL OF WUHAN
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
1999年 第21卷 第4期 Vol.21 No.4 1999
数字化期刊 DIGITIZED PERIODICAL

计算机仿真中框图自动识别与处理技术

艾春廷　夏雪峰　陈作炳　王利容

摘　要：　在研究框图组成结构的基础上，针对框图本身是一种图形的特点，直接以框图图形的形式输入仿真系统的框图，同时采用行列式的定义解含高阶变量的行列式，实现了对任意框图的自动识别，并自动求出相应系统的传递函数。
关键词：　数字仿真；　框图；　自动识别
中图法分类号：　TP 391.41

Block Diagram Auto-Identification and Treatment of Computer Simulation

Ai Chunting　Xia Xuefeng　Chen Zuobing　Wang Lirong

Abstract:　Based on the researches of the structure of block diagram , a method is proposed in view of the feature that block diagram itself is a graph: the block diagram of the simulation system is directly input by the graph of block diagram,at the same time, solving the determinant with high order variable through the determinant definition, realizing the auto-identification of arbitrary block diagram, and getting the transfer function of corresponding system.
Key words:　numerical simulation；　block diagram；　auto-identification
Ai Chunting:　Assoc.Prof.,School of Mechanical & Electric Engineering,WUT,Wuhan 430070,China.

　　系统仿真是在计算机上对系统进行模型实验，因此具有经济、安全、快速的特点。仿真技术已经应用在各技术领域、各学科和各工程部门。面向框图仿真具有便于研究某些环节参数变化时对系统性能的影响，便于对控制器参数进行优化选择，以及便于研究非线性因素对系统动态性能的影响等。因此，面向框图的仿真技术得到广泛的应用。目前，许多控制系统仿真在框图输入时主要采用文字和符号相结合的方式，框图的输入和显示不直观。同时在对任意流程方框图的处理时主要是将它转化为信号流程图，并据此采用梅逊公式求出系统的传递函数，这需要使用人员对信号流程图和梅逊公式有一定的了解。

　　本文利用行列式的特点，解含高阶变量多项式的稀疏行列式，实现了对流程方框图的直接求解，只需在系统界面下，用鼠标选择框图的组成要素并画出流程方框图，

通过框图的自动识别以及在输入每个方框的参数后，就可自动得到系统的传递函数。由于框图本身是一种图形，因此以图形的形式输入将更直观和更方便。本文的框图自动识别程序是在Windows环境Visual C++平台上开发的，对开发类似的软件具有一定的参考意义。

1　方框图的构成

系统方框图是系统数学模型的图解形式，在控制工程中得到了广泛的应用。在计算机屏幕上画出方框图，主要涉及到方框图的三种组成要素：①函数方框：它是传递函数的图解表示。②求和点：分为求和、求差两种，它是信号之间代数加减运算的符号。③引出线：分为上引、下引两种,同一信号需要反馈到其他单元，用信号反馈引出线表示，它表示反馈的位置和反馈类型。

2　框图的自动识别

对于一个复杂的方框图，如有n+1个不同的信号引出，各信号依次为x_0，x_1，…，x_n，其中x_0为输入信号，x_i为输出信号，针对每个函数方框或求和点都可得到一个独立的线性方程，则总共可得到n个线性方程组，用矩阵形式表示为：

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_0 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} x_0$$

简写成$AX=Bx_0$

设A的行列式为$|A|$，A矩阵中第i列由b_i代替后的行列式为$|A_i|$，则输出$x_i=|A_i|x_0/|A|$，传递函数$G(S)=x_i(s)/x_0(s)=|A_i(s)|/|A(s)|$。其中$|A(s)|$,$|A_i(s)|$分别为将具体的函数方框图中传递函数代入后的行列式。

下面以图1为例详细说明上述框图自动识别方法。

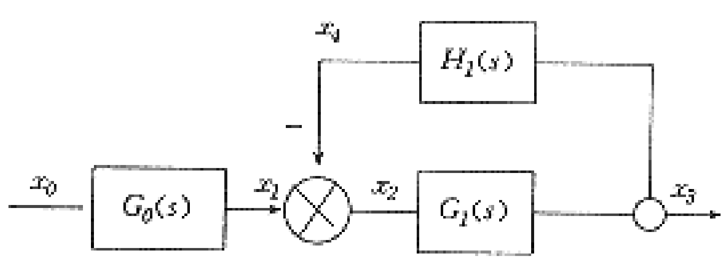

图1　框图自动识别

先忽略函数方框中具体的传递函数，每个传递函数用方框代号G_i表示。由方框图三种基本要素的特征，可将方框图中各关系用一个行列式表示。设信号引出线上不同的信号依次为x_0，x_1，x_2，x_3，x_4。

由图1可得传递函数的各线性关系为：

$$\begin{cases} x_1 = G_0 \cdot x_0 \\ x_2 = x_1 - x_4 \\ x_3 = G_1 \cdot x_2 \\ x_4 = H_1 \cdot x_3 \end{cases}$$ （其中 x_0 为输入信号，x_3 为输出信号）

将上式关系转化为：

$$\begin{cases} 1 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 = G_0 \cdot x_0 \\ -1 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 0 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 = 0 \\ 0 \cdot x_1 - G_1 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 = 0 \\ 0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 - H_1 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 = 0 \end{cases}$$

写成矩阵的形式：

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -G_1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -H_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} x_0$$

由线性方程组的克莱姆法则：

$$\text{输出 } x_3 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & G_0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -G_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} x_0 / \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -G_1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -H_1 & 1 \end{vmatrix}$$

如将G_0,G_1,H_1的具体传递函数代入，则可得到x_3/x_0的值，即为该系统的传递函数。

用以上方法即可识别方框图，将整个方框图的传递函数写成行列式运算，此行列式都是含二阶变量的稀疏行列式，求解比较复杂，此处用行列式的定义求解。

3　行列式的求解

行列式求解的常用方法是高斯消去法。当行列式中各元为常系数时，该方法求解比较方便。但是，如果行列式中含有高阶变量时，采用该方法求解就比较困难。在计算机的程序设计中，首先要分配足够的内存空间存入各元中的分子分母的系数；其次在消元的过程中要判断各元的特征，求取被消去项的消去系数。

在框图的自动识别中，行列式A为含有高阶变量的稀疏行列式，采用行列式的定义来求解行列式的值就可避免消去法中求消去项系数的麻烦，也不必对行列式进行线

性变换。采用行列式的定义来求解行列式的值关键一点是要求逆序数。

定义：设有n^2个数，排成n行n列的表

$$\begin{matrix} a_{11}a_{12}\cdots a_{1n} \\ a_{21}a_{22}\cdots a_{2n} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_{n1}a_{n2}\cdots a_{nn} \end{matrix}$$

作出表中不同行不同列的n个数的乘积，并赋以符号$(-1)^t$，得到如下形式：$(-1)^t a_{1p_1}a_{2p_2}\cdots a_{np_n}$的项，其中$p_1,p_2,\cdots,p_n$为自然数1，2，$\cdots$,$n$的一个排列，$t$为这个排列的逆序数，由于这样的排列共有$n!$个，因而形如上式的项共有$n!$项，所有这些项的代数和$\Sigma(-1)^t a_{1p_1}a_{2p_2}\cdots a_{np_n}$为n阶行列式，记作：

$$|A|=\begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}=\sum(-1)^t a_{1p1}a_{2p2}\cdots a_{npn}$$

其中t为$p_1p_2\cdots p_n$的逆序数。其定义为：对于n个不同的元素，我们规定各元素之间有一个标准的次序（此处为从小到大的次序），于是在这n个元素的任一个排列中，某两个元素的先后次序与标准次序不同时，就说有一个逆序，一个排列中的所有逆序的总数为这个排列的逆序数。例如：排列3，2，5，1，4中的逆序数：

$$t=t_1(3)+t_2(3,2)+t_3(3,2,5)+t_4(3,2,5,1)+t_5(3,2,5,1,4)=0+1+0+3+1=5$$

在方框图识别中形成的行列式是一个多零的稀疏方阵，在$n!$个$(-1)^t a_{1p_1}a_{2p_2}\cdots a_{np_n}$中有许多项为零。因此采用行列式的定义解含高阶变量的行列式的值就显得很方便。

最后，通过对多项式进行运算，可得到此方框图的传递函数为：

$$G(s)=\frac{c_{n-1}s^{n-1}+c_{n-2}s^{n-2}+\cdots+c_1s+c_0}{a_ns^n+a_{n-1}s^{n-1}+\cdots+a_1s+a_0}$$

一般a_n=1，则传递函数为：

$$G(s)=\frac{c_{n-1}s^{n-1}+c_{n-2}s^{n-2}+\cdots+c_1s+c_0}{s^n+a_{n-1}s^{n-1}+\cdots+a_1s+a_0}$$

4　结论

　　当系统以典型框图构成的流程方框图描述时，直接在屏幕上画出流程方框图，通过设计方框图各环节的数据结构，对输入的框图进行自动识别，通过输入与方框图对应的每个方框图的类型及参数，把识别后的连接关系表示成矩阵的形式。同时针对该行列式为稀疏行列式并含有变量的特点，直接采用行列式的定义解含高阶变量的行列式，实现了对任意框图的自动识别，并能自动求出其传递函数。

　　由于框图本身是一种图形，因此直接以框图图形的形式输入仿真系统的框图具有更直观、更方便和符合系统实际形式的优点。这一框图自动识别与处理技术的使用将使设计的仿真系统具有更友好、更美观和更简洁的用户界面。

艾春廷：男，1944年生，副教授；武汉：武汉工业大学机电学院(430070).
作者单位：武汉工业大学

参考文献

1　顾启泰.系统设计与仿真.北京：清华大学出版社，1995.
2　金先级.机电系统的计算机仿真.北京：清华大学出版社，1991.
3　章燕申，袁曾任.控制系统的设计与实际.北京：清华大学出版社，1992.
4　吴旭光，王新民.计算机仿真技术与应用.西安：西北工业大学出版社，1998.
5　吴麒，高黛陵，毛剑琴.论控制系统的智能设计. 控制理论与应用，1993，10(3)：241～249
6　高黛陵，李卫东，吴麒.多变量系统的仿真软件. 自动化学报，1996，22(3)：278～284

收稿日期：1999-03-17.