

矩阵设计工具 **MXTOOL**

叶庆凯 编著

北京 大学出版社

·北京·

内 容 简 介

MXTOOL 是一个建立在矩阵运算基础上的多功能组合软件。其基本功能包含显示数据的矩阵编辑器,使用数学化语言的矩阵计算器,以矩阵为运算对象的矩阵程序语言,并具有二维及三维绘图能力及错误检查能力。

MXTOOL 适用于一切需要进行矩阵(包括矢量与标量)计算的科技工作者、教学工作者,以及大学生。

矩阵设计工具 **MXTOOL**

叶庆凯 编著

责任编辑 邱淑清

*

北京大学出版社出版发行

<http://cbs.pku.edu.cn>

(北京大学校内 100871)

兴盛达激光照排中心排版

北京大学印刷厂印刷

新华书店经销

*

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 4 5 印张 107 千字

2000 年 3 月第一版 2000 年 3 月第一次印刷

ISBN 7-900620-53-4 TP·40

定价: 20.00 元(1CD, 含配套书)

序 言

应用软件在经历了程序库、软件包、软件系统等几个发展阶段后,许多用户发现,如果有一个集输入、计算、输出于一体,面向基本运算对象,有广泛开放性的开发环境,将可以大大提高工作效率。

现代科学计算中,矩阵运算起着越来越重要的作用。矩阵设计工具 MXT00L 就是中国软件工作者吸收了国外一些先进软件的设计思想,经过了多年努力完成的一种以矩阵为基本运算对象的开发环境。它具有如下基本功能:

(1) 为方便用户输入、显示、修改矩阵, MXT00L 提供了全屏幕的矩阵编辑器。

(2) 它可用数学化的语言完成各种常用的矩阵运算,并且可以完成各种矩阵结构运算。

(3) 具有相当的绘图能力。

(4) 为方便用户进一步开发本身所特需的功能,提供了以矩阵为基本对象的矩阵程序语言。

(5) 为方便用户调试自己开发的程序, MXT00L 具有运行跟踪能力。

(6) 为方便用户使用, MXT00L 还提供了相当丰富的辅助功能,它们主要有在线 HELP 功能,在线文本编辑功能,数据库索引的显示,计时功能等等。

全书共分八章和三个附录。第一章介绍 MXT00L 的主要功能及其实现方案;第二章介绍全屏幕的矩阵编辑器;第三章介绍矩阵语言的语法结构;第四、五章介绍 MXT00L 的内部函数与内部命令;第六、七章介绍 MXT00L 的外部函数与外部命令;第八章给出了出错信息对照表。三个附录中给出将 MXT00L 用于控制

系统分析与设计、数字信号处理与系统辨识方面的示范。我们还研制了将 MXTOOL 用于优化以及解常微分方程等方面的示范函数,有兴趣的读者可直接与本书的作者北京大学力学与工程科学系叶庆凯教授联系。

本项目得到了国家自然科学基金的资助。

本软件的第 1 版作为国家自然科学基金重大项目“ CAD/CSC 工程化软件系统 ”的一个分系统于 1991 年通过了国家自然科学基金委员会组织的鉴定。鉴定意见认为:“ MXTOOL 矩阵运算工具吸收了国际上一些先进软件工具的设计思想,其显示数据的矩阵编辑器,使用数学化语言的矩阵计算器,以矩阵为运算对象的矩阵程序语言,在线 HELP 能力及其错误检查等方面,具有明显特色,达到或优于国外 80 年代后期的同类产品水平。”

希望本软件的推广能给我国广大与矩阵计算有关的教学工作者,科研工作者提供一个方便的工具。

叶庆凯

1997 年 7 月 5 日于北京大学

目 录

第一章 前言	(1)
§1.1 MXTOOL 的运行环境	(2)
§1.2 MXTOOL 的功能简介	(2)
§1.3 MXTOOL 的实现方案	(4)
§1.4 MXTOOL 的主要文件	(5)
§1.5 MXTOOL 的屏幕设置	(5)
§1.6 MXTOOL 的安装	(6)
§1.7 MXTOOL 的启动	(7)
§1.8 MXTOOL 的版本	(8)
第二章 数据的输入与修改	(9)
§2.1 显示窗口的矩阵编辑	(9)
§2.2 用内部命令来输入矩阵	(12)
§2.3 产生特殊矩阵的内部函数	(15)
第三章 赋值语句	(20)
§3.1 赋值语句中的变量	(21)
§3.2 表达式	(23)
第四章 内部函数	(34)
§4.1 基本运算	(34)
§4.2 产生特殊矩阵	(36)
§4.3 基本功能	(36)
§4.4 特殊分解与特征展开	(38)
§4.5 绘图函数	(40)
§4.6 数据处理函数	(46)
§4.7 总体变量	(47)

第五章 内部命令	(48)
§ 5.1 数据的存盘与装入	(48)
§ 5.2 运行外部程序	(50)
§ 5.3 宏定义	(51)
§ 5.4 屏幕与内存管理	(51)
§ 5.5 工作记录	(53)
§ 5.6 其他	(53)
第六章 外部命令和外部函数	(56)
§ 6.1 命令文件	(56)
§ 6.2 函数文件	(57)
§ 6.3 编程基础	(61)
第七章 基本外部函数	(65)
§ 7.1 产生特殊矩阵	(65)
§ 7.2 矩阵的结构运算	(67)
§ 7.3 基本运算	(70)
§ 7.4 多项式运算	(72)
§ 7.5 矩阵函数	(75)
§ 7.6 其他	(75)
§ 7.7 示例	(79)
第八章 出错信息与出错处理	(80)
§ 8.1 出错信息对照表	(81)
§ 8.2 使用 MXT00L 时的注意事项	(83)
附录 A 控制系统的分析与设计	(86)
§ A.1 线性系统的描述	(86)
§ A.2 模型变换与化简	(90)
§ A.3 控制系统的分析与设计	(94)
§ A.4 控制系统的响应	(99)

§ A 5 其他	(101)
§ A 6 示例	(102)
附录 B 数字信号处理	(103)
§ B 1 信号处理和谱分析	(103)
§ B 2 窗函数	(106)
§ B 3 数字滤波器设计	(106)
§ B 4 频率响应	(109)
§ B 5 其他	(110)
§ B 6 示例	(111)
附录 C 系统辨识	(112)
§ C 1 模型转换	(114)
§ C 2 系统辨识	(116)
§ C 3 其他	(119)
§ C 4 示例	(121)
函数和命令索引	(122)
示例索引	(132)

第一章 前 言

MXTOOL 是一个建立在矩阵运算基础上的多功能组合软件。

在现代科学计算中,矩阵运算起着越来越重要的作用。例如,在控制系统设计、数据处理、系统辨识等领域,或广而言之,对一切线性系统以及某些可用线性系统来逼近的非线性系统的分析与设计中,其基本运算乃是矩阵运算。

矩阵运算要比一般标量运算与矢量运算复杂得多。它除了一般的加、减、乘、数乘运算外,更重要的还有求逆、解线性方程组、求特征值与特征矢量等运算。近年来,发现矩阵的一些特殊分解使矩阵的性质表现得更为明确,其中特别重要的有 QR 分解与奇异值分解等。

一般说来,数字计算机是很适合于用来处理矩阵运算的。很多计算机配置的高级语言(例如 FORTRAN 语言和 C 语言)也都有能力处理矩阵运算。但是,目前情况下,要在数字计算机上运用矩阵运算来解决问题并不方便,这主要反映在下述几个方面:

(1) 在进行数值运算时,最方便的是使用计算器,几乎人人都会使用。即使对于较为复杂的数值运算,对一般非专业人员而言,使用可编程计算器也比使用计算机方便得多。但目前还没有矩阵计算器可供使用。

(2) 使用高级语言进行矩阵运算时,用户必须了解高级语言本身。而高级语言的学习及熟练使用,一般说来需要相当长时间的专门性训练。

(3) 即使采用了人机对话技术,矩阵的编辑工作,包括输入、显示、修改、查找、保存等,始终是不方便的。这主要受到计算机屏

幕大小的限制,很难将整个矩阵同时显示在一幅屏幕上。

鉴于上述情况,需要开发一种可类似于计算器那样使用的矩阵工具包(或称矩阵运算环境、矩阵计算器等),其主要特点应具有以下能力:(1)以矩阵元素为基础的全屏幕编辑;(2)用户不必了解任何高级语言,在解不太复杂的问题时,应使用通常的数学符号;(3)允许用户方便地扩充自己定义的数学符号(或称为函数)。MXTOOL就是具有这些功能的一种以矩阵为运算对象的多功能组合软件。除了上述这些功能以外,对于熟悉程序语言的用户,MXTOOL同时又提供了与一般高级语言类似的编程能力,因而它实际上又是一种“矩阵语言”。

§ 1.1 MXTOOL 的运行环境

运行 MXTOOL 需要有带有硬盘和图形监控器的 IBM-PC/XT 或 AT 或其兼容机,内存要在 512k 以上。MXTOOL 可以在有 8087 协处理器或没有 8087 协处理器的情况下工作,但没有 8087 协处理器时速度将明显减慢。因而推荐的工作方式是配有 8087 协处理器。

MXTOOL 要求 DOS-3.1 以上版本的软件支持。如果用户需要在屏幕上绘图,则应配置图形驱动卡。MXTOOL 适应的图形驱动卡种类有:CGA, MCGA, EGA, EGA64, EGAMONO, VGA 和 HERCMONO。

运行 MXTOOL 时,系统配置应保证能同时打开 25 个文件。为保证运行速度应设置 10 个以上用于输入输出的缓冲区。

§ 1.2 MXTOOL 的功能简介

MXTOOL 的基本功能包括基本矩阵运算、数值分析、绘图、控制系统的分析和设计、数字信号处理,以及系统辨识等。

基本矩阵运算包括两大类:结构运算与数学运算。结构运算包括矩阵的输入、显示、修改、加载、存储,以及矩阵的合并、析取等。数学运算包括了线性代数中有关矩阵的大部分内容。例如,矩阵的求和、求积、数乘、求逆、求秩和范数、解线性代数方程组、求特征值和特征矢量,以及多种矩阵分解,其中包括 LU 分解、CHOLESKY 分解、QR 分解、奇异值分解等。为保证这些基础运算的程序质量,这些基础程序参考了经过考验的“中国控制系统计算机辅助设计工程化软件系统”的线性代数库。

为方便用户输入、检查、修改数据,MXTOOL 配备了以矩阵元素为基础的全屏幕矩阵编辑器。

为直观地显示运算结果,MXTOOL 具有相当丰富的二维和三维绘图功能,并在必要时可在打印机上输出这些图形。

数值分析方面包括高次代数方程求根,插值和曲线拟合,数值积分,微分方程求解等。

控制系统的分析和设计方面,包括系统模型的变换和化简,系统的串联、并联和反馈连接,系统的脉冲响应、阶跃响应及对任意输入的响应,求根轨迹, Bode 图,乃氏图等,并具有相应的绘图功能。在现代控制理论方面,可以求系统的可控判别阵和可测判别阵,进行极点配置和线性系统二次指标最优调节器的设计等。

信号处理方面,包括求均值、方差、均方差、相关矩阵,以及功率谱等数据的统计特性。可对信号进行 FFT 或逆 FFT,并具有用各种方法设计数字滤波器的功能。

系统辨识方面,可在输入-输出数据的基础上对系统参数进行辨识。建立系统的 ARMA 模型,输出-误差模型,线性模型等。

MXTOOL 除了具有上述基本功能外,还是一种具有开放性的矩阵开发环境。它提供了类似于高级语言的编程能力,用户可以在 MXTOOL 环境下很方便地用“矩阵语言”来扩充功能。

在 MXTOOL 环境下,为了使用户了解系统的运行情况,给出了关于系统运行情况的提示;在用户指令有错误时,给出包括错误

种类及错误位置的信息。

MXTOOL 可以和其他高级语言编写的程序相连接,在 MXTOOL 环境下,它允许用户执行所有的 DOS 命令,这样就极大地方便了用户在运算过程中了解外设的情况。并允许用户在 MXTOOL 环境下运行外存中的任一扩展名为 com 或 exe 的文件。在 C 语言或 PASCAL 语言中,也可以相当方便地执行 MXTOOL 语句。

最后, MXTOOL 还提供了在线 HELP,并给出了一系列示范程序供用户参考。

可以说, MXTOOL 是一个具有良好输入输出界面的可编程的多功能矩阵计算器,或者说,是一种使用方便的矩阵开发工具。

§ 1 3 MXTOOL 的实现方案

MXTOOL 的功能十分广泛,要把所有这些功能所使用的程序同时放入内存对 PC 机说来几乎是不可能的。

在 MXTOOL 的实现方案中,把上述功能分三大类。第一类是其核心部分,主要是基本矩阵运算,它们的使用频率最高,因而要求运算速度快。这类程序是用 C 语言编制的,并在运行过程中常驻内存。第二类程序,如 MXTOOL1 程序、HELP 程序、EDIT 程序等,这类程序也是用 C 语言编制的,并以扩展名为 exe 的文件形式放在外存中,只在需要时才调入内存,用完后就从内存中删去。第三类程序是一些专用程序,例如控制系统分析与设计程序、复杂的矩阵运算、系统辨识等。它们主要是通过调用基本矩阵运算程序并配合一些控制语句(如 if 语句及各种形式的循环语句)来实现一些特定的功能。这类程序在 MXTOOL 中属外部命令或外部函数。它们以可读的形式放在外存中,只在第一次需要时才被调入内存,进行编译,并把编译结果储存在内存中,再次需要时就直接执行存在内存中的编译结果了。这类程序的执行速度比第

一类程序慢。

§ 1.4 MXTOOL 的主要文件

MXTOOL 的主要运行文件是 MXTOOL .EXE, 它包含了上述第一类程序。另外有几个辅助运行文件, 它们是 MXTOOL1 程序、HELP 程序、文本编辑程序等。

除了运行文件外, MXTOOL 还包含外部命令文件、外部函数文件、数据文件, 以及图形传送文件等。

外部命令文件以扩展名 p 为标志, 以后也被称为“ .p 文件”。实际上它就是一串命令, 用户可以自己编写。调入运行时起的是宏命令的作用, 与主程序之间不进行数据传送。

外部函数文件以扩展名 f 为标志, 以后也被称为“ .f 文件”。它也可由用户自己编写。一般一个 .f 文件对应一种功能。它包含函数样本, 函数体与返回等几个部分。它运行时针对的是局部变量, 因而对其他变量没有影响, 返回后这些局部变量也不再有意义。外部函数可以与内部函数一样使用, 同样可以进入表达式。这是 MXTOOL 具有开放性的主要手段。外部函数与内部函数的主要区别是执行速度较慢, 其优点在于用户可以用大致与数学语言类同的表示方法来直接书写。且由于平时存放于外存, 只在需要时调入, 因而几乎不受内存容量的限制。

数据文件以扩展名 mat 为标志, 它用来存储运行过程中产生的需要保存起来以备后用的各种变量。

图形传送文件以扩展名 pic 为标志。它用来存储有关图形的数据。

§ 1.5 MXTOOL 的屏幕设置

MXTOOL 的主要运行过程是在 25×80 的文字屏幕下进行

的。此时前 20 行为显示窗口;21 到 24 行为命令窗口,以高亮度标志;第 25 行为提示窗口。在显示窗口与命令窗口之间以 ESC 键切换。在要求输入命令时,将在命令窗口中出现光标提示。否则,表明系统处于显示状态。

§ 1.6 MXTTOOL 的安装

完整的 MXTTOOL 系统存贮在一张光盘或三寸软盘上。此盘上的目录结构如下:

MXTTOOL	CONTROL
	SIGNAL
	IDENT
	USER

在 CONTROL 子目录下装着有关控制系统分析与设计的外部函数,共 6 个 .p 文件和 56 个 .f 文件。

在 SIGNAL 子目录下装关有关信号处理的外部函数,共 6 个 .p 文件和 38 个 .f 文件。

在 IDENT 子目录下装着有系统辨识的外部函数共 8 个 .p 文件和 34 个 .f 文件。共 6 个 .p 文件和 34 个 .f 文件。

在 MXTTOOL 目录下,有 3 个可执行文件,3 个 C 语言接口文件,3 个 FORTRAN 语言接口文件,以及有关基本外部函数的 16 个 .p 文件和 70 个 .f 文件。3 个可执行文件是:

- mxtool .exe,
- mxtool1 .exe(仅限于 1.5 版以上),
- help .exe;

C 及 FORTRAN 语言的接口文件是:

- savemat .c,
- loadmat .c,
- testls .c,

savemat for,
loadmat for,
testls for。

安装的具体方法是,在 C 盘的根目录下(一定要在 C 盘的根目录下)建立相应的目录结构并把全部文件复制到相应的目录下,安装即完成。(若可使用 Windows 的文件管理器,只要将目录 MXTOOL 复制到 C 盘的根目录下,安装即完成。)

在安装完毕后,用户还应把自己熟悉的文件编辑器以 edit .com 或 edit .exe 的名称复制到 MXTOOL 目录下,否则不能使用 edit 命令。

MXTOOL 的简单版本就是 mxtool .exe,将它放在任何目录下,或就放在软盘上,均可直接运行。但此时不能使用外部函数,也不能使用 help 命令。

§ 1.7 MXTOOL 的启动

在完成了 MXTOOL 的安装后,用户可进入 \ MXTOOL \ USER 子目录。再运行 MXTOOL 目录下的文件 MXTOOL .EXE (即键入 \ mxtool \ mxtool CR)就可启动 MXTOOL 了。此时屏幕的显示窗口的正中间显示信息

```
MXTOOL
copyright by Ye Qingkai
Peking University
Ver 2.0 NO 93011400
```

在显示窗口的右上角显示当前的时间。此时命令窗口中出现光标,表明系统处于命令状态,等待用户键入任何命令。

上述状态我们称为 MXTOOL 屏幕的初始状态。MXTOOL 在运行过程中,如果产生了在第八章 § 8.1 出错信息对照表中列出的错误,屏幕均将显示此初始状态。

§ 1.8 MXTOOL 的版本

MXTOOL 的简单版本或称教学版只有一个 `mxtool.exe` 文件,功能比较简单。MXTOOL 的早期版本(1991 年版)已具有较完整的功能。MXTOOL 的当前版本(1993 年版)改正了 1991 年版中的某些错误并增加了一些重要的函数,它还增大了数据库容量,以便适应求解更复杂的课题。

第二章 数据的输入与修改

MXTOOL 中使用的基本数据结构是矩阵,标量和行、列矢量均作为特殊矩阵来处理。

MXTOOL 中可用多种方式输入与修改矩阵。在输入十分简单的矩阵,例如 3×3 的实矩阵时,方便的方法是由内部命令产生。在输入比较复杂的矩阵(行数与列数均小于 40 的实或复的矩阵)时,最方便的方法是使用显示窗口的矩阵编辑功能。当输入更为复杂的矩阵时,还可由执行外部命令文件或装入外部数据文件来得到。若要使用一些特殊矩阵, MXTOOL 还提供了产生零矩阵、全 1 矩阵、单位矩阵、对角矩阵,以及随机矩阵等特殊矩阵的内部函数。

§ 2.1 显示窗口的矩阵编辑

MXTOOL 的显示窗口可用来编辑和修改矩阵数据。显示窗口的大小为 20 行 80 列。头两行的显示内容为:

可用内存量: 提示信息:
矩阵名: 矩阵大小: 矩阵属性:

接着 16 行用来显示相应的矩阵的一部分。共显示 15 行 6 列矩阵元素,这些元素在矩阵中的位置可由用户指定。用高亮度的光标表明正在处理的元素的位置。光标位置可用各种移位键来移动。当光标位置移出屏幕之外时, MXTOOL 将自动调整屏幕上所显示的矩阵元素以使光标位置仍保留在屏幕上。

MXTOOL 的光标移位键如下:

CR: 光标向右移动一个元素

: 光标向右移动一个元素
 : 光标向左移动一个元素
 : 光标向上移动一行
 : 光标向下移动一行
 pgup: 光标向上移动一页(15 行)
 pgdown: 光标向下移动一页(15 行)
 ctr : 光标向右移动一页
 ctr : 光标向左移动一页
 Home: 光标移至第 1 行第 1 列
 End: 光标移至所编辑矩阵的最后一个元素
 F1: 光标移至下一行的第一个元素
 F2: 显示上述各移位键功能

显示窗口的第 19 行为提示行。在正常输入状态下它提示三个信息:

(1) 光标所在位置。例如, (10,7)表明当前光标处于所编辑矩阵的第 10 行第 7 列元素。

(2) 光标所在处的内容。若已输入过数据则显示此数据的实际数值(16 位有效数字),而在光标处显示的则是 5 位有效数字的近似值;否则,显示 Empty。

(3) 正在编辑的矩阵的编号,即它是 MXTOOL 这次运行中所使用的第几个矩阵。MXTOOL 一次运行共可使用 256 个矩阵。编号为 200 ~ 255 的矩阵为全局变量,应尽可能少用。

显示窗口的第 20 行为输入行。在正常输入状态下用来编辑光标所示位置处矩阵元素的数值。它可以是 MXTOOL 的任一表达式。当按下回车键后, MXTOOL 计算此表达式,并将计算结果(为一矩阵)的第一行第一列元素的值作为光标所在处矩阵元素的值。此时可用的编辑功能键有:

: 光标向右移动一位
 : 光标向左移动一位