

三维图形 与动画程序设计

语言图形开发丛书



原作

Lee Adams

编译

杨秀峰

杨剑威

中国广播电视出版社

C语言开发丛书

三维图形与动画程序设计

(美)LEE ADAMS 著

杨秀峰 杨剑威 编译

王 川 苏乐平 校对

中国广播电视出版社

1992

内 容 提 要

本书由浅入深地介绍在 IBM PC 机上 C 语言三维图形程序设计的各种概念、方法和技巧。内容包括构造任意物体的三维造型、给模型增加自然光照效果以及快速三维动画等专题。书中还包括飞行模拟等近 40 个实例,每个模块都有 Turbo C 和 Quick C 两种版本,代码量在 6500 行左右,是本不可多得的图形程序设计指南。

本书适合于大中学生、各类计算机爱好者阅读。

C 语言开发丛书

三维图形与动画程序设计

(美) LEE ADAMS 著

杨秀峰 杨剑威 编译

王 川 苏乐平 校对

*

中国广播电视出版社出版

(北京复外广播电影电视部友楼 邮政编码:100866)

北京振华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

787×1092 毫米 16 开 620 千字 58.875 印张

1992 年 12 月第 1 版 1992 年 12 月第 1 次印刷

印数:1~2250 册 定价:16.90 元

书号,ISBN 7-3043-1822-9/TN·160

(京)新登字 097 号

编译者序

我始终忘不了第一次看到飞行模拟游戏时的激动心情。飞机沿着跑道缓缓滑行,然后逐渐加速、起飞,擦着海面飞行,万顷波涛从我身下掠过。我调整航向,加速前进。左前方出现一个小黑点,在慢慢变大。我抬起机头,掠过女神像,前方是夜色朦胧的纽约城……。

几年过去了,我时常在想:什么时候能驾驶自己编写的飞行模拟器在空中遨游呢?当我看到《三维图形与动画程序设计》这本书时,我知道我的梦想可以实现了。作者 Lee Adams 是美国计算机图形设计专家,有二十多年图形程序设计经验,并已经出版一系列的图形学著作。

计算机图形设计是当今最神秘、最激动人心、也是最令人望而生畏的领域之一。以往这方面的书籍大多抽象难懂,Adams 则与众不同,他的成功之处在于,对那些只懂得有限几何知识的读者,同样能驾驭 PC 机强大的图形能力,在屏幕上随心所欲地作图。在本书中,你将会看到,如何简单准确地构造物体的三维模型;怎样将被挡住的物体巧妙地隐藏起来;如何旋转和移动模型;怎样通过计算光源位置来生成具有光照效果的模型;你还能学到两种高速三维动画技术,使你建立的模型“活”起来。

书中 6500 多行 C 源代码,是作者多年图形程序设计经验的结晶。借助这些设计精良的图形子函数,你能编写出可与市面流行的游戏软件媲美的飞行模拟或赛车程序。书中近 40 个演示程序具有良好的编程风格。为使读者把注意力集中于图形的实现而非程序本身,作者没有使用诸如指针操作与结构、联合等不易理解的 C 指令。因而程序清晰易懂,并很容易改写成其它语言的版本。

对计算机绘图感兴趣的读者应该读一读这本书。如果你对 C 不太熟悉,可从设计图形程序入手,由浅入深,要比啃枯燥的 C 教程学起来容易;对有经验的计算机用户,本书会教你如何生成具有强烈视觉效果的图形;对于专门从事软件开发的读者,会从本书的图形构造技术和编程技巧中得到启迪,写出高效、优美的图形程序;而对于使用 CAD 的读者,本书会帮你理解那些昂贵的 CAD 软件所使用的概念和算法。

用 Lee Adams 的话说,本书旨在使读者看完后能感受到:计算机画图原来如此!

本书另附 5 寸高密软盘一张,含书中全部源代码,包括 Turbo C 和 Quick C 版本。盘中的可执行文件经过编译者仔细调试,可在 IBM 系列机上运行。

本书在出版过程中,得到高雨春同志的大力帮助;此外,姚芳、王川、苏乐平、姚若林、高文波和张健等也作了许多工作,在此一并表示感谢。

书中的插图是杨剑秋在计算机上绘制的,郭新也参与了部分文字核对工作。

编译者

1992 年 9 月

如何使用本书

本书提供了大量的在 IBM PC 及其兼容机上进行三维造型、明暗处理和动画制作等的图形编程技术。使用象 QuickC 或 TurboC 这样颇为流行的编译器,你可以写出足以和商业软件相媲美的图形程序。

书中列出 6,500 多行具有实用价值的 C 源代码,从中你可以学到许多只有丰富经验的程序员才能使用的编程技巧。约 40 个独立而完整的演示程序,会引导你一步步进入奇妙的三维世界。你将会学到如何构造一个物体的准确的三维图形;如何使用透明线框模型或实心模型把物体显示在屏幕上。只要对源代码略加修改,你就可以随心所欲地将模型旋转和移动。你将会学到通过计算光源的位置来生成具有明暗效果的模型,通过简单地光源位置的变化,可以让光线照射到模型的每一个侧面。你还会学到两种高级三维动画技术,使模型“活”起来。

总之,这是一本深入浅出、以其它书籍的终点为起点的高级三维图形设计教程。

谁应该使用这本书

手头已经有一台 IBM-PC 或其兼容机,并且对计算机绘图感兴趣的读者都应该读一读这本书。如果你对 C 语言不太熟悉,可以从图形程序设计入手,由浅入深地学习 C 语言,比啃枯燥的 C 教程容易而有趣得多;对于有经验的计算机用户,本书会教你如何生成一些具有强烈视觉效果的图形技术,通常认为这些图形在普通的 PC 机上是无法实现的;如果你对 C 十分熟悉或者专门从事软件开发,书中列出的大量的图形技术和编程技巧会给你更多的启迪;而对于使用 CAD 系统的人来说,本书会帮你深入地理解昂贵的 CAD 软件包中所采用的概念和算法。

关于本书的组织

本书作为 C 程序员的一本参考书,作者进行了精心地制作。可以很容易地找到你所感兴趣的专题。所有程序都是高度模块化的,你可以十分轻松地在 QuickC 或 TurboC 的集成环境中进行输入、编译和调试。

本书的重点在于帮助你理解演示程序所使用的图形概念,使你能自如地把书中介绍的方法应用到自己的程序中去。三维造型、明暗处理和三维动画在实际应用中是十分广泛的:例如建筑设计、零件设计、包装设计以至飞行模拟等等。只要充分地发挥想象力,你就能在自己编写的应用程序中加入生动逼真的三维图象。

本书内容的层次组织得十分分明:重要的基本概念放在书的开头介绍,为后面的应用奠定基础。每个演示程序都有完整的清单。如果你看过那些把 C 代码分散在全书的不同地方或者只列出程序片段的 C 语言参考书,你会十分欣赏本书的作法。

在 PC 及其兼容机上,无论哪一种类型的图形适配器(CGA、MCGA、EGA、VGA 和

TVGA 等)都可以在 Microsoft Quick C 和 Borland Turbo C 的集成环境中运行本书的演示例程。每个例程的初始化部分自动检查计算机的图形适配器和显示器的类型,并选择二者的最佳组合来初始化屏幕。

大部分程序附有运行结果打印输出的屏幕照片,并且都有详细的程序分析。

本书的五大部分

第一部分:图形设计的基本概念。

介绍不同档次的 PC 机、不同种类的图形适配器和显示器以及 QuickC 与 TurboC 的图形功能。你可以学到模块化的编程方法,学会怎样使用各种图形函数。这一部分的内容是下面进行三维图形设计的基础。另外,这里还介绍一组有效的键盘和屏幕的管理子程序。

第二部分:三维造型。

阐述三维造型和消除隐藏线的基本概念。你将会看到怎样旋转、移动和缩放一个三维模型。演示程序包括:立方体、球体和圆柱体的线框模型和实心模型;三维平滑曲面以及模型的表面图案映象。

第三部分:明暗处理。

这一部分的内容十分引人入胜。通过使用半色调技术和线抖动技术,你可以在 PC 机上配出更多的颜色,而使用这些具有明暗对比的色彩对模型进行明暗处理,就能形成自然的光照效果。演示程序包括:PC 机的半色调配色演示,立方体、球体和圆柱体的明暗模型,以及物体的镜面映象等。

第四部分:三维动画。

首先分析不同档次的 PC 机、图形适配器和显示器的动画能力,然后再分别介绍帧动画和实时动画。演示程序包括:复杂物体的帧动画和立方体的实时动画。

第五部分:实例研究。

这一部分将介绍三维图形设计的三种实际应用。演示程序包括:包装设计、飞行模拟和容器设计。

使用本书的环境

(1)软件条件:

QuickC 1.00、Microsoft C 5.00、TurboC 1.5 或它们的更高版本。注意:TurboC 1.0 不具备图形功能。)

(2)硬件条件:

一台 IBM-PC 或其兼容机,如 XT、AT、286 或 386 等;带有 CGA、MCGA、EGA、VGA 或 TVGA 的图形适配器。

程 序 清 单

本书的演示程序使用 VGA、EGA、或 MCGA 图形适配器。对于一个特定的系统来说，许多程序能自动地选择最佳图形模式。如果系统配置的是 VGA，程序便使用 $640 \times 480 - 16$ 色模式。如果配置的是 EGA 和增绩型显示器，程序便使用 $640 \times 200 - 16$ 色模式。如果配置的是 CGA 或 MCGA，程序便使用 $320 \times 200 - 4$ 色模式。

书中列出的所有的源程序代码都在演示程序盘上，经过编译器仔细调试给出可执行代码。下面列出 TurboC 的程序名清单：

QuickC 程序清单

- QC-01.C 图形模式兼容性管理程序
- QC-02.C 线框立方体
- QC-03.C 实心立方体
- QC-04.C 实心球
- QC-05.C 实心圆柱
- QC-06.C 三维曲线
- QC-07.C 把平面图映射到立方体上
- QC-08.C 把平面图映射到圆柱体上
- QC-09.C 明暗度调色板
- QC-10.C 立方体的明暗处理
- QC-11.C 球体的明暗处理
- QC-12.C 园柱体的明暗处理
- QC-13.C 带镜面反射的立方体
- QC-14.C 三维模型帧动画
- QC-15.C 三维模型实时动画
- QC-16.C 实例研究：包装设计
- QC-17.C 实例研究：飞行模拟器
- QC-18.C 实例研究：软饮料包装设计
- VGA-EGA.C VGA/EGA 屏幕图象存储
- X-CGA.C CGA 屏幕图象存储

TurboC 程序清单

- TC-01.C 图形模式兼容性管理程序

- TC-02.C 线框立方体
- TC-03.C 实心立方体
- TC-04.C 实心球
- TC-05.C 实心圆柱
- TC-06.C 三维曲线
- TC-07.C 把平面图映射到立方体上
- TC-08.C 把平面图映射到圆柱体上
- TC-09.C 明暗度调色板
- TC-10.C 立方体的明暗处理
- TC-11.C 球体的明暗处理
- TC-12.C 带镜面反射的立方体
- TC-13.C 三维模型帧动画
- TC-14.C 三维模型实时动画
- TC-16.C 实例研究:包装设计
- TC-17.C 实例研究:飞行模拟器
- TC-18.C 实例研究:软饮料包装设计

目 录

编译者序
如何使用本书
程序清单

第一部份

基础 知 识

1	基本概念	(1)
	三维图形重要吗? 1	
	哪里使用三维图形? 2	
	三维图形初步 3	
	三维图形学:定义 3	
2	硬件	(5)
	图形适配器 5	
	图形模式 8	
	图形适配器如何工作 9	
	显示存储器映象 9	
	图形程序的可移植性 13	
	图形适配器标准 13	
	实例研究 14	
	显示器 15	
3	软件	(18)
	C 的优势 1:灵活性 18	
	C 的优势 2:高效性 18	
	C 的优势 3:速度 19	
	使用 C 编译器编程:概述 19	
	集成 C 编程环境 20	
	集成 C 编译器如何工作 21	
	编程周期 21	
	典型 QuickC 编程环境 21	
	典型 TurboC 编程环境 23	
	存储器管理 23	
4	程序控制	(26)

C 程序结构	26
C 程序的控制	27
C 运算符	27
C 的循环控制	29
C 的分支指令	30
使用 C 变量	30
使用 C 数组	33
C 程序的可移植性	33
语法的可移植性	34
与 C 编译器通信	34
5 图形控制	(36)
基本图形功能	36
建立图形模式	36
高级图形功能	40
图形语法	45
6 使用 QuickC	(46)
系统内存映象	46
DOS 环境	48
QLB 库:软驱系统	49
实例研究:运行一个典型的 C 程序	50
程序分析	53
常见错误信息	54
生成 EXE 文件	55
7 使用 TurboC	(56)
系统内存映象	56
DOS 环境	58
实例研究:运行一个典型的 C 程序	58
程序分析	61
常见错误信息	62
生成 EXE 文件	63

第二部份

造 型

8 三维图象的概念	(64)
空间坐标	64
生成三维模型	66
模型的元素	67
B-rep 造型	68

例化	68
子物体	69
显示方式	70
9 三维图形变换	(71)
三维变换算法	71
旋转公式	71
平移公式	73
投影公式	73
角度失真	74
弧度和度	75
旋转——平移顺序	76
物体比例的考虑	77
10 立方体	(80)
线型立方体	80
全局变量和局部变量	81
主函数	81
变量的初始化	82
消除隐藏面	82
平面公式法	83
物体空间和图象空间	83
实心立方体——平面公式法消隐	84
平面公式法消隐子程序	84
优化的数据库	86
Key-Matte 方法	87
三维造型的通用算法	87
11 球和圆柱体	(108)
实心球	109
区域填充的种子点	112
显示器的精度	112
实心圆柱	112
12 三维曲面	(140)
三次样条曲线	140
三维自由曲线	140
13 模型表面映射	(152)
表面映射	152
立方体表面映射	152
圆柱表面映射	154
14 多模型显示	(184)
隐藏面消除法种类	184

- 消除隐蔽面的方法 184
- 径向预排序法 186
- 径向排序法 187
- 平面公式法 187
- 隔离平面法 187
- 深度排序法 187
- 光线跟踪法 188
- 分解法 188
- Z缓冲区法 188
- 极值法 190
- 扫描线法 190
- 关于程序设计的一些问题 191
- 适合于C的方法 191

第三部份

光照与明暗处理

15 光照与明暗效果 (192)

- 明暗算法 192
- 平色调技术 192
- 平滑明暗技术 193
- 入射角 193
- 光照与反射 193
- 漫反射 193
- 环境反射 194
- 镜面反射 195
- 表面的类型 195
- 物体的颜色 196
- 光线跟踪 196
- PC机上的漫射与明暗 197

16 PC机的明暗模式 (199)

- 半色调 199
- 半色调演示程序 199
- BIT TILING的两种策略 201
- 线抖动 202

17 计算机控制的明暗模型 (212)

- 一般算法 212
- 具体算法 212
- 演示程序:立方体的明暗模型 212

illumination()子程序	213
shade()子程序	214
dither()子程序	215
进一步的尝试	215
演示程序:球体的明暗模型	216
演示程序:圆柱的明暗模型	216
18 反射与阳光	(267)
镜面反射	267
几何阴影	267
演示程序:镜面反射	267

第四部份

动 画

19 三维动画的概念	(291)
BITBLT 动画	291
帧动画	291
实时动画	292
三种动画技术的优缺点	293
其他动画技术	293
20 帧动画	(294)
达到硬件速度的软件	294
选择图形模式	294
演示程序:复杂三维实体的帧动画	294
main()函数	295
动画的管理程序	295
绘制模型的过程	295
用本程序做些尝试	295
帧动画的潜力	296
21 实时动画	(311)
实时动画的原理	311
改善实时动画效果的四种技巧	311
演示程序:立方体的实时动画	312
程序的工作过程	312
实时动画的潜力	312

第五部份

应 用

22 实例研究:包装设计	(317)
准备包装盒 317	
准备表面图案 317	
演示程序:包装盒设计 317	
程序如何工作 318	
对程序的强化 319	
硬件方面的考虑 320	
23 实例研究:飞行模拟器	(339)
飞行模拟的三维变换 340	
空战模拟的三维变换 340	
飞机驾驶方法 340	
程序如何工作 341	
动画循环过程 341	
用源程序做实验 342	
24 实例研究:一拉罐设计	(361)
程序如何工作 361	

附 录

A C 图形数学知识	(387)
移动光源 387	
三角原理 388	
等比原理 389	
弧度法 390	
隐藏面消除 390	
向量乘法 391	
计算机控制明暗处理 392	
三维旋转公式 392	
三次参数曲线 393	
B C 图形存取例程	(395)
VGA 和 EGA 屏幕图象存取 395	
CGA 屏幕图象存取 395	
C 变量词典	(404)
D IBM RT 的计算机图形	(407)

基 本 概 念

图形程序员施展才能的天地正在变得越来越广阔。世界各地有近八百万台 IBM PC 及其兼容机在办公室和家庭中使用。由于越来越多的用户希望在自己的程序中使用图形,所以这些计算机多数具有 VGA、EGA 或 CGA 的图形能力。他们根据经验发现,图形可以节省学习时间,简化和掌握使用软件的方法。由于当今市场上的大部分软件都是用 C 编写的,所以,在竞争激烈的软件市场中,缺乏图形技能的 C 程序员将处于极端不利的地位。掌握计算机图形特别是三维图形的编程方法,就能在程序中实现高度真实的模型、渲染强烈的感染效果、进行逼真的模拟和制作高速动画等。这些编程技巧对于写娱乐软件、表演软件、商业软件、桌式出版软件和规划软件等是很有用处的。

三维图形重要吗?

在你的程序中增加三维图形非常重要吗?大概要想透彻地理解这一点还得靠你自己。图 1-1 的图形代表三种不同的方法。上部的图形只用前视图表示一种构想。模型的前、后、左、右、顶和底视图通常称为正交视图。正如你所看到的,具有二维视域的正交视图只能给出有限的视频信息。

图 1-1 中部的图形使用等比视图来表达同一构想。等比视图使用以 30°角画出的线段模拟景深,通称 2-1/2D,实际上它只有二维。为了便于度量图中线段的长度,等比视图不使用透视法。因此,等比画法使长度模型发生严重地畸变。尽管等比视图比正交视图给出更多的视频信息,但它还不是真实景物的准确表示。

图 1-1 下部的图形使用真的是真实的三维图象。可见,真实的三维图象所反映的一种构想有多么直观容易。它能准确地表示出实际世界中存在的物体。而在 PC 机上生成三维图象,就象画二维图形那样方便。

虽然使用了三维图形,图 1-1 构想的全部含意仍然没有完全表达出来,似乎还缺少一些东西。图 1-1 的图象只是实际世界存在景物的静态解释。假如你的手中正拿着这样一个模型,你大概会转动它,从不同的角度观察该物体。类似地,你的 PC 机也可以旋转图 1-1 的三维图象(利用第 20 章演示的高速帧动画技术),于是原构想的生动的真实性就能完全传达给显示器的观察者。科学研究证明,增加了三维图形和动画技术之后,计算机画的图象就更容易观察了。

因此,如果你想快速而有效地传递信息,就应当使用图形。如果你想更好地传递信息,就

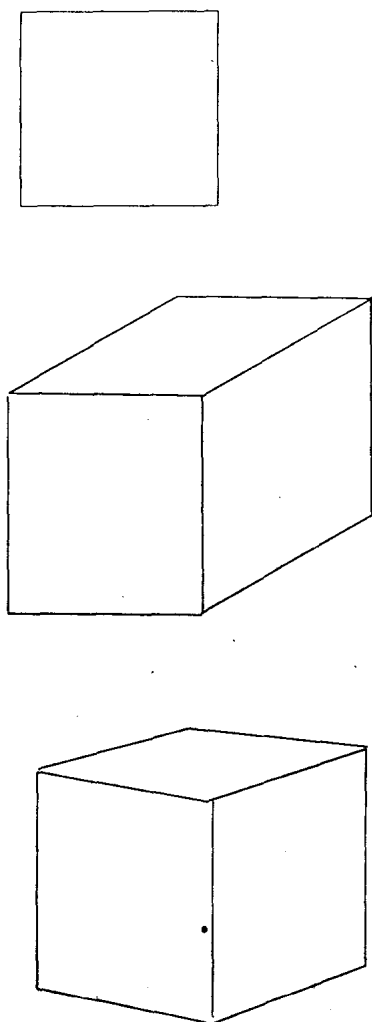


图1--1 上图：正交视图
中图：等比视图
下图：三维视图

应当使用三维图形。如果你想以最佳方式传递信息，那就应当使用三维动画。

什么地方使用三维图形？

使用或者可以使用三维图形和三维动画的应用软件，其范围是极其广泛的。没有三维图形，CAD、CAM、CAE、CAS 和 MCAE 根本就不能存在。

CAD 是**计算机辅助设计**的简称。**CAM** 代表**计算机辅助制造**。**CAE** 表示**计算机辅助工程**。**CAS** 是新近形成的**计算机辅助造型**领域，在包装设计中**使用**。而**MCAE** 是**机械计算机辅助工程**的简称，使用类似有限元分析的高级特征。

有了计算机的三维图形，就有可能绘制出建筑设计的预排图，以便预先了解管道和结构部件的工艺，从而使设计者、绘图员和建筑师们不必再把他们的设计制成纸板模型。

计算机三维图形给地球物理学领域提供重要的分析工具。利用计算机造型，分析地表和地下土壤、地下水及矿藏，能以比较低廉的成本更有效地进行采掘、开矿和钻探。

计算机三维图形还可以应用于医疗诊断。通过扫描人体器官，为从事外科或理疗的医生提供重要的医疗信息。现在，计算机辅助层析 X 射线摄影——CAT 扫描，就连小型的医疗中心也在普遍地使用。

计算机三维图形是娱乐影片工业的主要组成部分。许多特技——工业上称为 EFX——实际上都是计算机生成的三维图象。象 Star wars、TRON 和 The last starfighter 等影片，都大量地使用了三维计算机图形。

计算机三维图形在技术图表说明中也起着越来越大的作用。广告片、指导手册和装配指南都普遍地使用剖视和色码图表进行说明。

计算机三维图形是 CAD/CAM 软件的生命线。使用三维图象，计算机用户可以检验不同零件的吻合程度，检验量具间隙（在机器人和计算机控制的生产中），确定活动部件的动作……所有这些工作都不再需要建造工作样机才能进行。三维计算机图形除用于评价模压、机加工和铸造等部件的处理外，还可以用于评价复杂的铸件。CAD/CAM 软件多用于诸如喇叭音箱、水泵、家用器具零件、相机外壳、涡轮机叶片、发动机部件和其它各种产品的设计中。

增加三维模型之后，甚至连表演图形和分析图形的功能也能得到加强。娱乐软件经常使用三维图象，而桌面排版程序在使用了 TIFF 图形文件的格式之后，也开始支持三维模型的位映象。

作为一名 C 程序员，一旦掌握了三维造型、隐藏面消除和由计算机控制的光照效果以及明暗处理的基本算法之后，这些令人激动而极有前途的领域就是力所能及的了。本书便为你提供为达到你的目的所需要的基本出发点。

三维图形初步

计算机图形学是一门编程科学，而三维图形学则是该领域的一个特殊分支。许多通用软件包的极端复杂性使人们对三维图形望而生畏。然而正如本书所表明的那样，事实并非如此。

现在的 PC 机具有极其强大的能力，它与目前的 C 编译器所提供的图形功能相结合，使大多数 C 程序员都可以直接使用 C 语言来编写 C 图形例程——尤其是三维图形例程。一旦开发并调试好一个子例程，你就可以把它应用于所有的三维图形程序中。

三维图形学：定义

现在，是应该揭开围绕计算机三维图形产生的某些传奇式秘密的时候了。

日常英语中，三维计算机图形(3D computer image)指的是一种数学意义上的几何模型。几何模型分线框模型、实心模型和全色彩明暗模型。配有 VGA、EGA 或 CGA 图形卡的 IBM-PC 及其兼容机可以产生全部这三种几何模型。

线框模型

线框(wire-frame)模型是一种粘着式模型，无须消除隐藏面。

实心模型

实心模型(solid model)是已经去掉隐藏面的黑白图象。实心模型可能由 CSG(建筑实体几何)或 B-rep(边界图象)产生的。这两个名称听起来可能有点吓人，但正如你在第 8 章将会看到的那样，实际上它们相当简单。