



土木与建筑工程CAE

第四章 CAE系统的可视化

清华大学土木工程系

胡振中

huzhenzhong@tsinghua.edu.cn

Tsinghua University



第四章 CAE系统的可视化

- 4-1 概述
- 4-2 标量场可视化技术
- 4-3 矢量场可视化技术
- 4-4 图像处理技术
- 4-5 CAE可视化应用



4-1 概述

- 科学计算可视化 (VISC: Visualization in Scientific Computation)
- 概念
 - 把计算中所涉及的和所产生的数字信息转变为直观的、以图象或图形信息表示的，随时间和空间变化的物理现象或物理量呈现在研究者面前。
 - 将任何抽象的事物、过程变成图形图像的表现都可以称为可视化。
 - 可见量的显示: 变形
 - 不可见量的显示: 应力
 - 不可见部分(如物体内部)中各种可见量、不可见量的显示;
 - 变量变化过程的显示: 室内空气流动。



研究背景

- 借助航天航空、遥感、加速器、CT (计算机断层扫描)、MRI (核磁共振)、计算机模拟 (如核爆炸) 等手段, 人类获取数据的能力飞速提高
- 面对堆积如山的数据, 及时解读和获取有用的信息成为人类面临的巨大挑战
- 超级计算机的广泛使用, 如天体物理、生物学、气象、空气动力学、医学等领域产生大量的数据, 数据不直观、处理费时间 (是计算时间的十几倍甚至几十倍), 阻碍了科学研究的进展
- 已无法用传统的方法来理解大量科学数据中包含的复杂现象和规律, 传统的数字或字符形式的处理方法已无法满足需要



发展概况

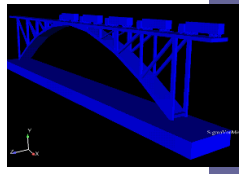
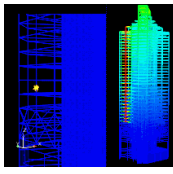
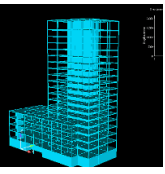
- 1986年10月, 美国自然科学基金会 (NSF) 的科学计算分组就图形学、图象处理等方面的问题召开讨论会, 认为图形学与成象技术应用于科学计算将会发展成一个全新的技术领域——科学计算可视化。
 - 1987年1月, NSF召集有关专家召开VISC讨论会, 形成了正式的VISC报告, 从而为VISC这一门交叉学科的形成与发展奠定了基础。
 - IEEE计算机图形学技术委员会1990年设立可视化国际会议, 每年举行一次。
 - 欧洲图形学学会从1990年开始每年举行科学计算可视化专题讨论会。



可视化技术研究的三个层次

- 后置处理: (post-processing)

对计算结果进行可视化处理, 即图形显示在数据计算后产生, 与数据之间没有交互。如计算流体力学、有限元后处理等。

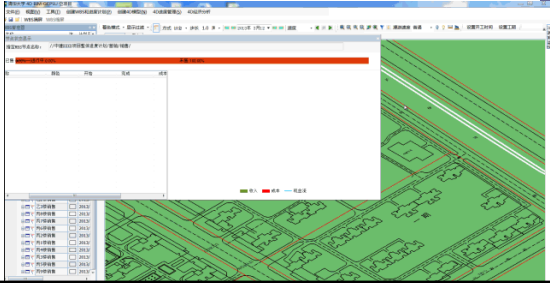




可视化技术研究的三个层次

跟踪处理 (Tracking)

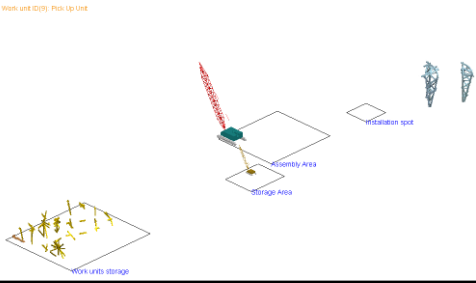
实时地显示计算中产生的结果，即图形显示与计算过程同时进行，计算中间结果及最后结果都能及时显示，研究人员可了解当前的计算情况，及早发现错误和问题，中断计算过程。



可视化技术研究的三个层次

驾驭处理 (Steering)

对计算进行实时干预，计算过程中能对参数进行修改，如增加或减少网格点（不中断），修改某些网格参数等，从而对数值模拟进行直接控制和引导。



科学计算可视化的基本步骤

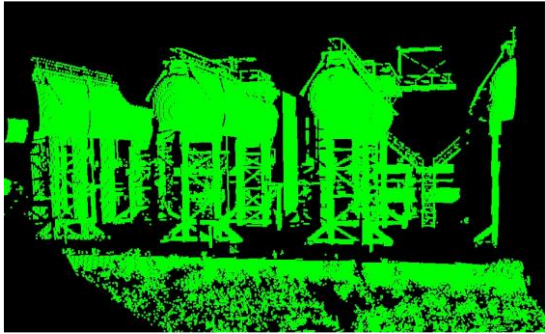
数据获取

- 数据获取的途径：
 - 核磁共振成像 (MRT)
 - 计算机辅助X线断层扫描仪 (CT)
 - 图象扫描
 - 仿真计算……



科学计算可视化的基本步骤

Scan the scene => create a "point cloud"



科学计算可视化的基本步骤

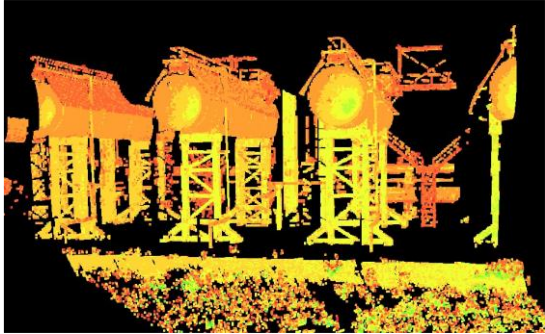
数据理解

- 对数据场进行分析、识别、分类。
- 提取出数据中包含的各种科学规律、现象等，将这些抽象的、甚至是不可见的规律和现象用一些可见的物体点、线、面等表示出来的。
 - 明确数据所表示的物理意义；
 - 描述事件的主要特征；
 - 对特征值进行识别和提取。
- 如：轮廓面提取；临界点确定；涡流核提取；流场拓扑结构等。



科学计算可视化的基本步骤

Color the points





科学计算可视化的基本步骤

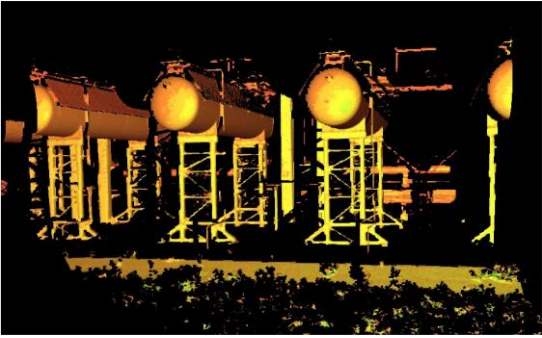
● 数据重建

- 三维空间场原本是连续的数据集，但数值仿真所得结果或测量所得数据是离散的，是对连续三维场进行重新采样的结果。可视化算法要将此空间样本尽可能准确地转化为屏幕上的二维图象。
- 将映射的点、线、面等用各种方法绘制到屏幕上，在绘制中有些物体可能是透明的，有些物体可能被其他物体遮挡。



科学计算可视化的基本步骤

“Shrink-wrap” surfaces in-the-field!



科学计算可视化的基本步骤

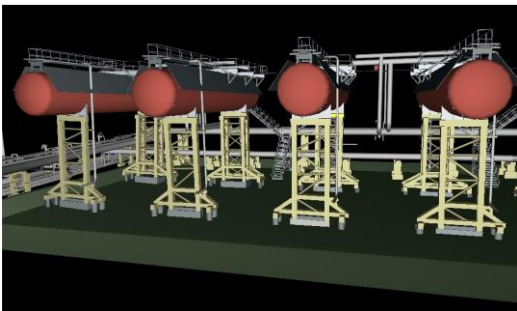
● 视觉化造型

- 将物理化学信息转化为有组织结构表示的一个视觉信号集合。如空间几何形状、颜色、亮度等。使信息表现出几何形状、亮度、质感等。
- 将多维形式的视觉信号集，经快速有效地处理转化为二维图象。
 - 如CT数据和三维模型或照片混合。
 - 模拟数据和实际图象合成。



科学计算可视化的基本步骤

Optional last step: Create detailed 3D model



可视化软件的硬件要求

● 高性能计算机

- 图形工作站：可视化分析
- 大容量外存

● 高性能图形显示器

● 高传输速率的网络

● 图形输出设备

- 高质量的彩色打印机
- 头盔显示器

● 图形输入设备：鼠标、旋钮盘、数据手套、测量设备.....



科学计算可视化技术

● 科学计算可视化技术主要是将离散的数据场转变为图形图像的表达技术

● 数据场

- 通过计算或实验获得的具有一定内在联系的一群数据
 - 医学：核磁共振、CT扫描等产生人体器官密度场
 - 不同的人体组织表现出不同的密度值。通过在一个方向或多个方向上多个剖面的数据来表现病变区域的情况
 - 地质勘探：模拟地震获取地下岩层信息和资源信息
 - 核爆炸：模拟高温高压下物质状态的变化
 - 工程问题：有限元分析中的温度场、力场、密度场等
- 数据场的分布在大多数情况下是离散的
 - 数据场的分布规律暂时是未知的，或由于客观情况的限制，只能在有限的离散点上获得有限精度和数量的数据
 - 由于计算机是数字计算机，即使是连续的模型也需要将其离散化为数字才能够由计算机处理



科学计算可视化技术

- 科学计算可视化技术
 - 标量场可视化技术
 - 矢量场可视化技术
 - 张量场可视化技术
 - 其他可视化技术
 - 图像处理技术：用于处理高密度点的标量场分布
 - 图像增强技术
 - 特征抽取技术



4-2 标量场可视化技术

- 标量
 - 只有数值而无方向的量，如温度、密度。
 - 标量场可视化是目前可视化技术中研究较多的领域，特别是三维标量场可视化技术。
- 标量场可视化方法
 - 一维标量场
 - 二维标量场
 - 三维标量场



一维标量场的可视化方法

- 值的一维分布是标量可视化技术中最简单的一种
- 一维标量场可视化的常用技术：
 - 颜色映射、线形图、条形图等
- 颜色映射法
 - 用颜色表示数据场中数据值的大小；
 - 在数据与颜色之间建立一个映射关系，把不同的数据映射为不同的颜色。在绘制图形时，根据场中的数据确定点或图元的颜色，从而以颜色来反映数据场的数值及其变化。



一维标量场的可视化方法：颜色映射法

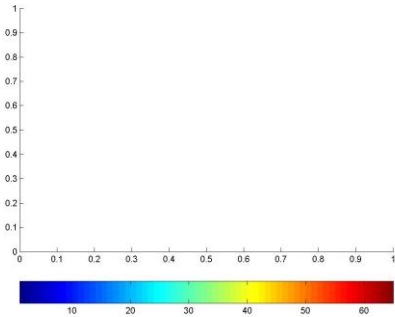
- 利用计算机硬件提供的功能直接对颜色的RGB基色值进行插值计算

RGB法

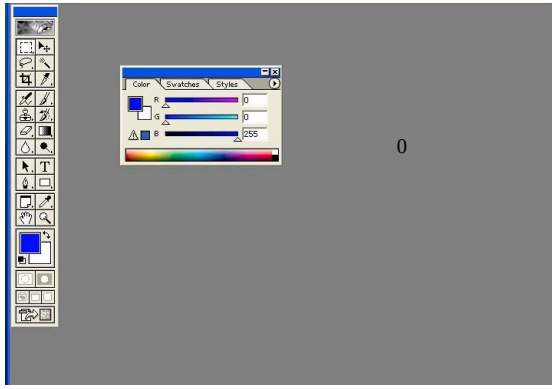
标量值	R值	G值	B值	颜色
0.000	0.0	0.0	1.0	兰
0.125	0.0	0.5	1.0	兰-青
0.250	0.0	1.0	1.0	青
0.375	0.0	1.0	0.5	青-绿
0.500	0.0	1.0	0.0	绿
0.625	0.5	1.0	0.0	绿-黄
0.750	1.0	1.0	0.0	黄
0.875	1.0	0.5	0.0	橙
1.000	1.0	0.0	0.0	红

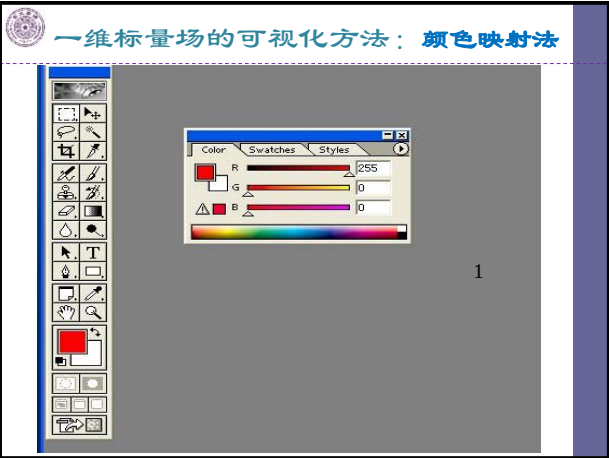
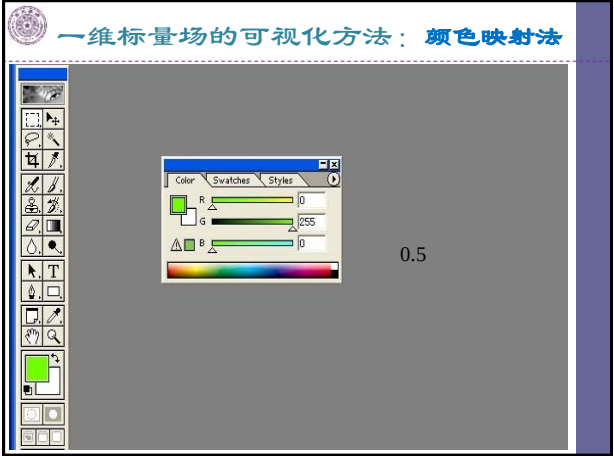
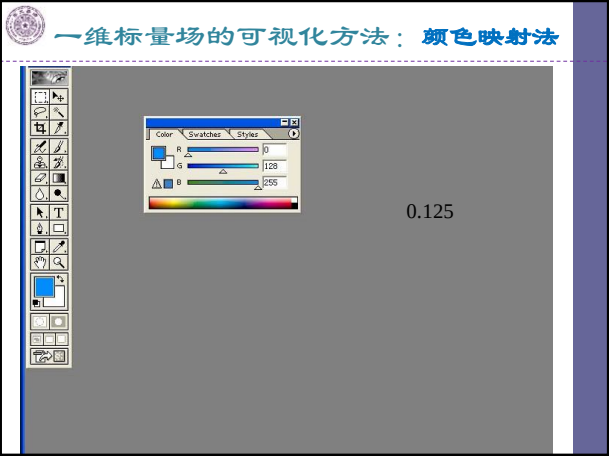


一维标量场的可视化方法：颜色映射法



一维标量场的可视化方法：颜色映射法





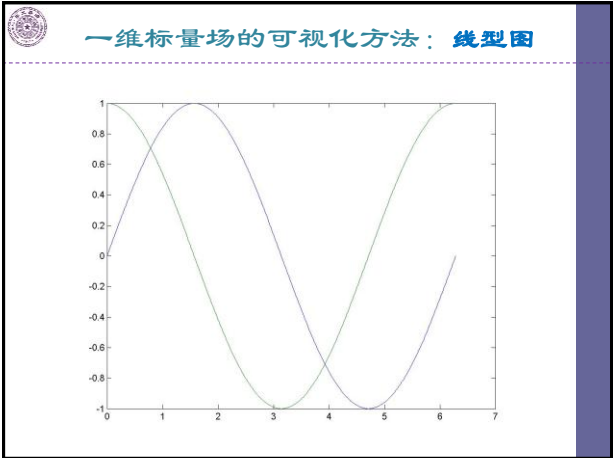
一维标量场的可视化方法：颜色映射法

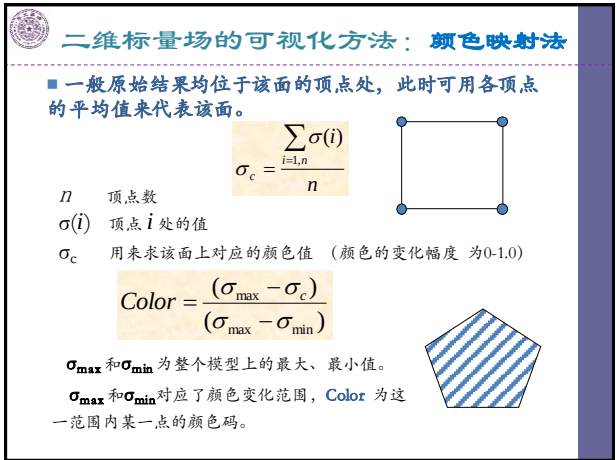
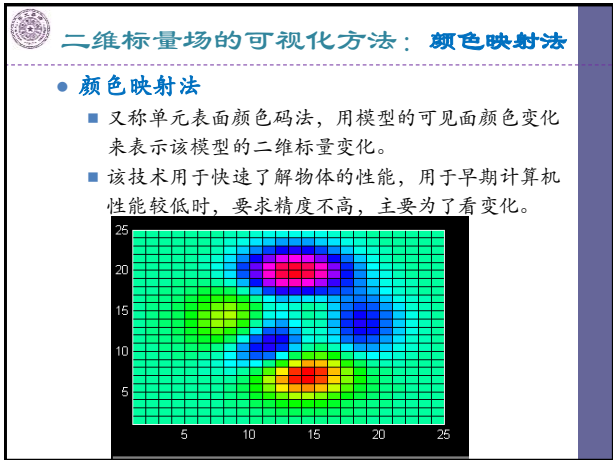
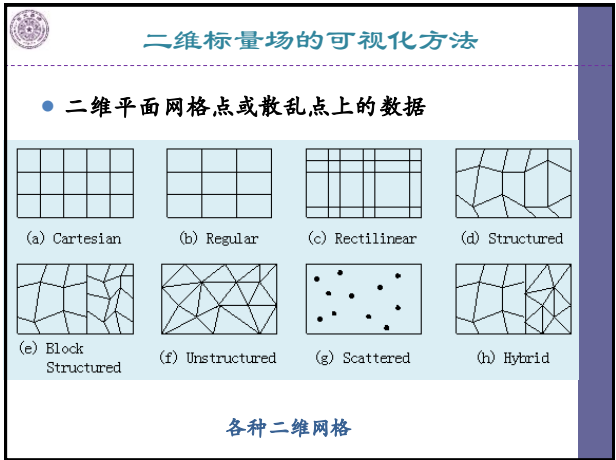
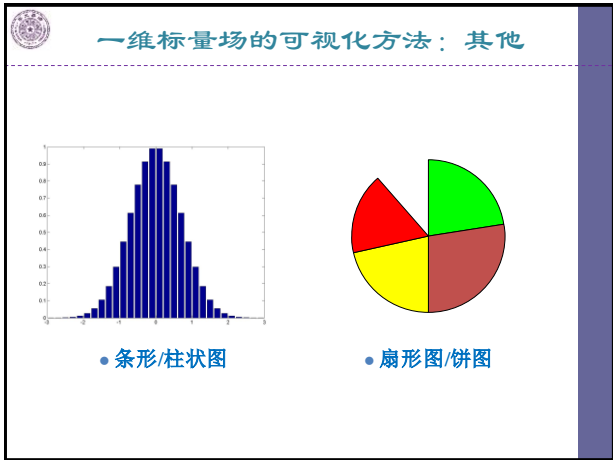
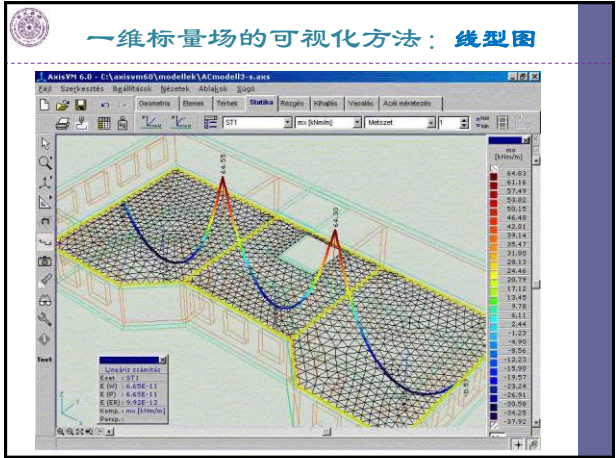
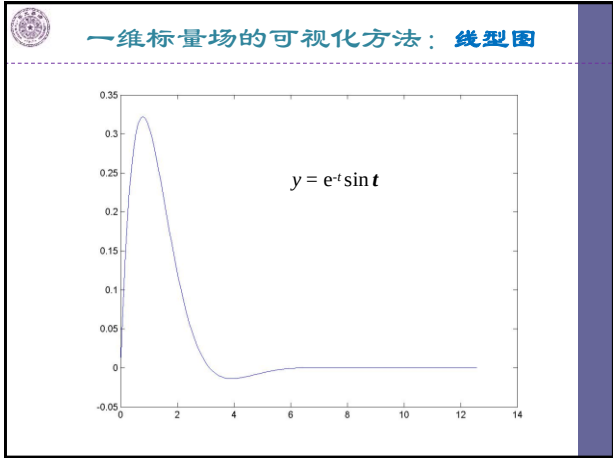
HLS法

Hue-色相 (颜色的色调) Lightness-亮度
Saturation-纯度

标量值	色相(度) (L与S值一定)	颜色
0.000	0	兰
0.125	30	兰-青
0.250	60	青
0.375	90	青-绿
0.500	120	绿
0.625	150	绿-黄
0.750	180	黄
0.875	210	橙
1.000	240	红

- 一维标量场的可视化方法：线型图
- 线型图
 - 用路径表示标量变化过程。
 - 如同表示函数 $Y=f(X)$ ，一维标量场可以直接用线条画图。
 - 基本方法：在X-Y平面内，根据采样点的值，构造插值函数 $F=(X1)$ ，
 - 根据： $F=(X1)$ 生成采样点间的线段。
 - 常用：线性插值、埃米尔特插值，三次或多次样条插值。



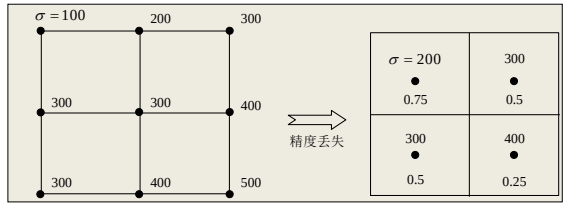




二维标量场的可视化方法：颜色映射法

■ 缺点：

- 精度差；
- 模型中三维透视效果的丢失，相邻面具有同一颜色时，看上去无立体感。



二维标量场的可视化方法：颜色映射法

■ 光线浓淡处理

HLS法

除用色相的不同表示不同的标量大小外，可用亮度按面上法线的变化来表示透视效果，此处 S（纯度）不变，亮度：

$$L = \cos \theta$$

θ 多边形表面法线和光源（线）向量的夹角。

例：对某个多边形，若其基色为红，则该多边形上：

$$HLS = \begin{matrix} \text{Red} \\ H \\ L \\ S \end{matrix} = (240.0, 1.0, 1.0) \quad \theta = 0^\circ \quad \text{full Red}$$

$$(240.0, 0.707, 1.0) \quad \theta = 45^\circ$$

$$(240.0, 0.0, 1.0) \quad \theta = 90^\circ \quad \text{black}$$

此法增加了计算工作量



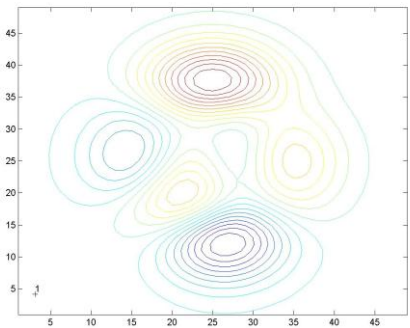
二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法

● 等值线（区域）法

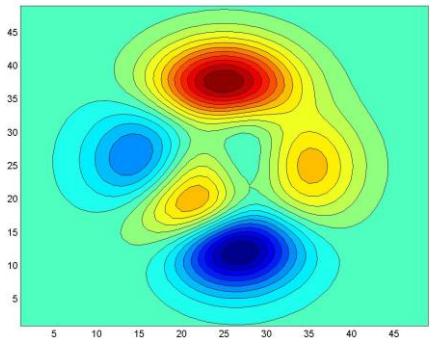
- 比较准确地表示二维标量场等值线：同一数值间连线（可带颜色）
- **等值线**：有点 (x_i, y_i) 定义，其中 $F(x_i, y_i) = F_i$ (F_i 为一给定值)，将这些点按一定顺序连接组成函数 $F(x, y)$ 的值为 F_i 的等值线
- **等值区域**：同一数值间围成区域（填充颜色）
- 常见的等值线：等高线，等应力线，等温线等



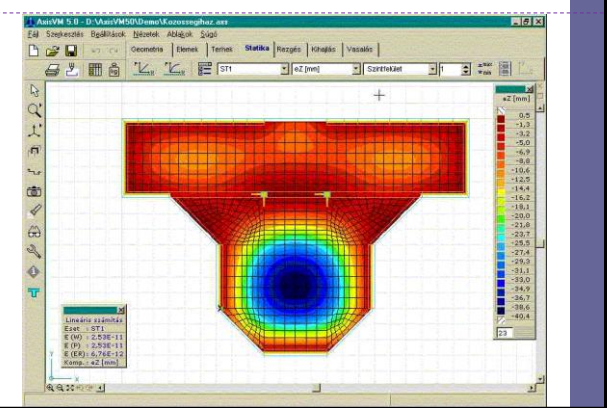
二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法



二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法



二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法





二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法

■ 等值线的抽取

- **网格序列法**: 按网格单元的排列顺序, 逐个处理每一单元, 寻找每一单元内相应的等值线段。处理完所有单元后, 即生成了该网格中的等值线分布。
- **网格无关法**: 通过给定等值线的起始点, 利用起始点附近的局部几何性质, 计算等值线的下一点; 然后利用计算出的新点, 重复计算下一点, 直至达到边界区域或回到原始起始点。

网格序列法按网格排列顺序逐个处理单元, 效率不高。网格无关法是一种高效的算法。



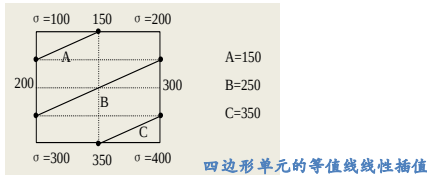
二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法

■ 网格法

- 大多数商业软件中, 采用线性插值方法求单元内部点的值。
- 一般认为, 单元内的值的变化相比整个模型内值的变化来说, 是次要的。所以可将单元内值的变化看作是线性的。

■ 等值线的线性插值:

- 等值线的准确位置依赖于单元内值的变化规律的假定, 在大多数情况下, 等值线位于根据形函数算得的等值点。



二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法

➢ 思路:

- 逐个计算每一个网格单元与等值线的交点;
- 连接该单元内等值线的交点, 生成该单元内的等值线段;
- 由一系列单元内的等值线线段构成该网格中的等值线。

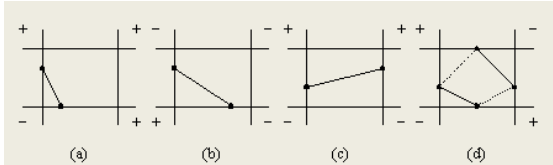
➢ 网格单元与等值线的交点计算:

- 可采用顶点判定, 边上插值的方法计算。
- 设等值线的值为 F_t , 若 $F_{ij} < F_t$, 则记顶点为 ‘-’; $F_{ij} > F_t$, 则记顶点为 ‘+’。
- 若单元的四个顶点全为 ‘+’ 或 ‘-’, 则网格单元内无等值线;
- 否则对两个顶点分别为 ‘+’、‘-’ 的单元边, 可用线性插值计算等值线的交点, 并在单元内连线。



二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法

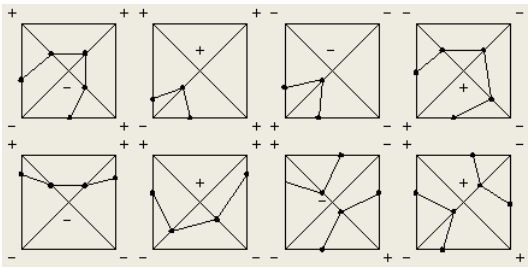
单元内等值线连接情况



- 图(d)存在着两种连接方式的二义性情况, 不可能判断哪种连接情况是正确的。为了避免这种二义性情况, 可采用单元剖分法。
- **思路**: 利用对角线将矩形单元分成四个三角形单元, 求出中心点的函数值, 等值线的抽取直接在三角单元中进行。三角单元中至多只包含一条等值线, 从而避免了二义性问题, 但处理单元数目增加了四倍。



二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法



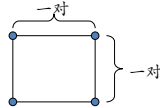
单元剖分法连接情况



二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法

算法:

- (1) 先找出起始点 σ_{iso} , 按单元循环;
- (2) 假如该单元上所有顶点的值均大于或小于 σ_{iso} 则停止 (说明该单元内无等值线穿过), 否则进入下一步。
- (3) 从该单元的第一对顶点开始, 确定 σ_{iso} 是否位于这条边 (当小于其中一个顶点、大于另一个顶点的值时, 就是这种情况)
- (4) 1、2为第一对顶点, 2、3为第二对顶点)
如果 σ_{iso} 未位于此边, 则沿逆时针方向 (或顺时针方向) 查找, 直至找到为止。



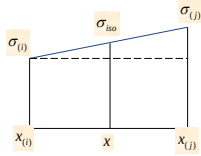


二维标量场的可视化方法：等值线(区域)法

(4) 一旦找到包含了 σ_{iso} 的边，在顶点i和j之间（该边两顶点），用线性插值计算 σ_{iso} 的位置。

$$\begin{cases} x = x(i) + fac * (x(j) - x(i)) \\ y = y(i) + fac * (y(j) - y(i)) \\ z = z(i) + fac * (z(j) - z(i)) \end{cases}$$

$$fac = \frac{\sigma_{(j)} - \sigma_{iso}}{\sigma_{(j)} - \sigma_{(i)}}$$



(5) 检查相邻边，直至找到等值点，用step4的公式算出该点的位置，将两个等值点相连，形成等值线。

(6) 当还有至少两条边时，再重复上述步骤。

由此找到的点将成为下一条等值线的两个等值点。

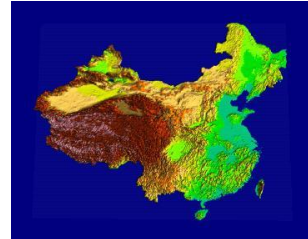


二维标量场的可视化方法：立体图法

● 立体图法

■ 以一个立体图形来显示平面数据场。将平面数据场的数据转换为高度，从整体上可以看成三维图形。

■ 使用立体图方法显示，可以用三角面片、曲面逼近等方法拟合数据场。



三维标量场的可视化方法

● 三维空间数据场表示一个三维空间内部的详细信息，典型例子为医学CT采样数据，每个CT的照片实际上是一个二维数据场，照片的灰度表示了某一片物体量的密度。将这些照片按一定的顺序排列起来，就组成了一个三维数据场。

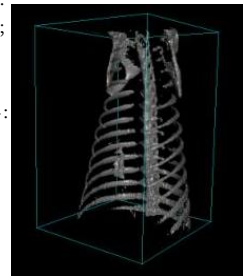
● 表面信息抽取法

- 将CT采样数据场看成是由一些二维数据场按一定顺序排列组成的，各断层数据之间有很大相关性。
- 各断层间相互平行，每一断层与实体的交线就是实体在该断层的轮廓线。
- 先在各层之间找出物体的边界线，再利用断层之间的连贯性，就可以从一系列断面上的轮廓线中推导出相应物体的空间几何结构。



三维标量场的可视化方法

- 在一个断层中找出物体的轮廓线：利用等值线方法找到所有轮廓线；
- 在各个相邻的轮廓线之间构造出物体的表面，然后进行绘制。
- 物体的表面用三角面片进行拼接：在相邻的两层上找出三个点，其中两个点在同一层，另一个点在另一层。在拼接过程中，一次加入一条边，就可以组成一个三角面片。



表面绘制方法绘制的动物骨骼表面



4.3 矢量场可视化技术

● **矢量**：既有大小也有方向的量，如力、速度等，称作矢量或向量。

- 矢量场包括二维、三维或多维矢量场，可以是平面场或立体场。
- 矢量场的可视化，尤其是三维以上矢量场的可视化，其难点是找出在三维空间中表示向量的合适方法。



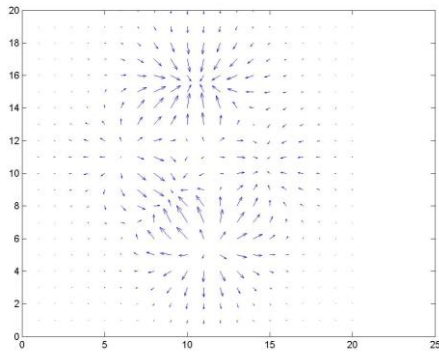
矢量场可视化技术：箭头表示方法

- 在向量场中有限的离散点上，显示带有箭头的有向线段，用线段的长度表示向量的大小，用箭头表示其方向。
 - 适用于较小、较简单的矢量场，一般要求，按大小放大后的箭头不会相互复盖。
 - 缺点：无法表示连续情况。
- 对于二维平面上的三维向量，也可用箭头来表示，箭头可指向显示表面或由显示表面指出。
- 可用这种方法表示定义在体中的3D向量。
 - 还可采用光照处理或深度显示以增加真实感。
- 用向量的颜色表示另一标量信息或另一个变量。

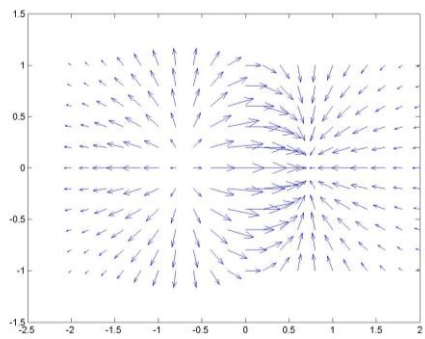




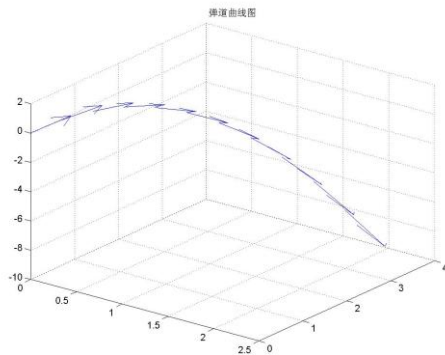
矢量场可视化技术：箭头表示方法



矢量场可视化技术：箭头表示方法



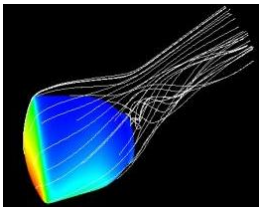
矢量场可视化技术：箭头表示方法



矢量场可视化技术：场线表示方法

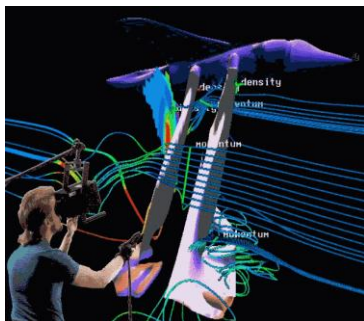
- 线上所有质点的瞬时速度都与之相切的线称为场线。场线是一条虚拟曲线，其上任一点的方向与矢量场在该点的方向一致。
 - 场线在流体速度场中称为**流线**，在电场中称为**电力线**，在磁场中称为**磁力线**。

三维空间中的流线



矢量场可视化技术：场线表示方法

- 虚拟风洞



矢量场可视化技术：场线表示方法

设稳定三维流场的空间坐标为 x, y, z
对应的速度分量分别为 u, v, w
则流线用下式表示：
$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w}$$

设 $r(t)$ 是速度场 $V(u, v, w)$ 的位置矢量，是时间 t 的函数，
 P 点的切线为 dr/dt ，则上式可写为：
$$\frac{dr}{dt} = V(r)$$

其积分为：
$$r(t) = r(0) + \int_0^t V(r(t)) dt$$

用数值方法求上式，即可求出场线。



矢量场可视化技术：二维矢量拓扑图

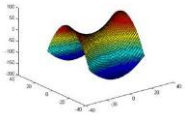
- 将原始矢量场用一些临界点及它们之间的连线来表示。（简化原始数据集）使看似杂乱的数据显得有规律。
- 过程：
 - 将矢量场转换到计算空间；
 - 确定可能含有临界点的网格单元；
 - 根据特征值将临界点分类；
 - 沿特征方向进行曲线积分；
 - 显示临界点及积分曲线。
- 临界点：矢量场中矢量大小为零的点。



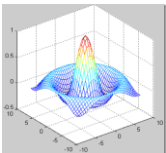
矢量场可视化技术：二维矢量拓扑图

- 二维矢量场
- $V(u, v)$ 可用于Jacobian矩阵来表示矢量场及其切线的行为：

$$\left[\frac{\partial(u, v)}{\partial(x, y)} \right]_{x_0, y_0} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix}_{x_0, y_0}$$



据此矩阵的特征值将临界点分为：
马鞍点 saddle point
吸附点 attracting nodes
排斥点 repelling point



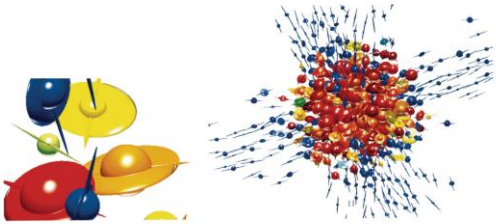
张量场可视化技术

- 张量
 - 是物理学中场的一种。假如一个空间中的每一点的属性都可以以一个张量来代表的话，那么这个场就是一个张量场。最常见的张量场有广义相对论的应力能张量场
 - 标量和矢量的扩展
 - 张量场就是场量需要用张量来描述的场。标量场比如温度场就零阶张量场，矢量场比如磁场就是一阶张量场，二阶张量场就是场量需要用矩阵表述的场，比如固体内部的应力分布场
 - 矢量场的几何直觉就是不同长度和方向的“箭头”附着在一个区域的每一点；张量场的一般想法综合了更丰富的几何信息。



张量场可视化技术

- 张量场可视化方法
- 图元法；特征线法；艺术法；体绘制法；形变法



图一 椭圆半径，圆盘半径和棒长分别对应于最小特征值，中间特征值，和最大特征值的两倍（左）；相交的大脑白质束的张量场模拟



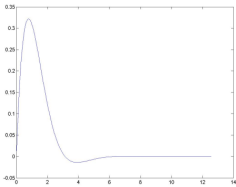
MATLAB可视化例题

- MATLAB是美国Mathworks公司推出的一套高性能的数值计算和可视化软件，它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体，并将科学计算、结果可视化和编程集中在一个环境中，其典型应用范围：
 - 数学计算
 - 算法推导
 - 系统建模和仿真
 - 数据分析和结果可视化
 - 工程绘图
 - 应用程序开发



MATLAB可视化例题：绘制函数曲线

- (1) 绘制函数曲线
- $y = e^{-t} \sin t$ (一维标量场)
- $t=0: pi/40: 4*pi;$ %产生维数为(1×161)的数值变量t
- $y = \exp(-t).*\sin(t)$ %计算(1×161)维的数组变量y
- $plot(t,y)$ %画y = e^{-t}sin t 曲线

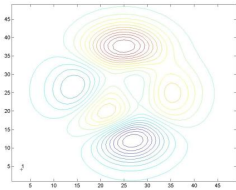




MATLAB可视化例题：二维标量场

(2) 在二维平面上绘制等高线

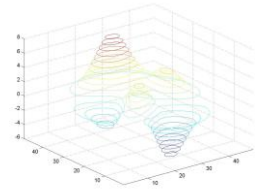
```
clf; %清除当前图
z = peaks %将数据场送给z数组(49*49)
c = contour(z, 20); %绘制等高线 (20等分)
clabel(c); %给等高线加标注
```



MATLAB可视化例题：三维标量场

(3) 三维等高线

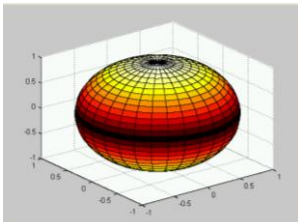
```
clf;
z = peaks
c = contour3(z, 20);
clabel(c);
```



MATLAB可视化例题：四维标量场

(4) 绘制地球表面气温分布图

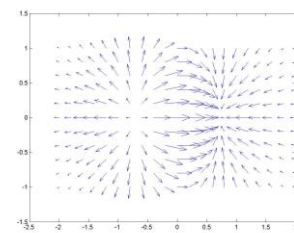
```
[x,y,z] = sphere(30); %产生单位球面的三维坐标
T = abs(z);
surf(x,y,z,T); %三维着色曲面图
%色彩属性由T确定
colormap(hot); %设颜色 (黑、红、黄、白浓淡色)
```



MATLAB可视化例题：二维矢量场

(5) 二维矢量场可视化

```
z = peaks(20);
[u,v] = gradient(z,2); %二元函数的梯度值
quiver(u,v); %绘制二维矢量图
```



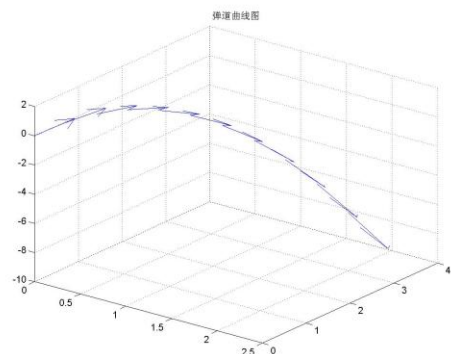
MATLAB可视化例题：三维矢量场

(6) 绘制弹道曲线图

```
t = 0:1:1; %定义时间变量
x = 2*t; %计算位移值
y = 3*t;
z = 10*t-16*t.^2;
u = gradient(x); %计算速度值
v = gradient(y);
w = gradient(z);
quiver3(x,y,z,u,v,w); %绘制矢量场 (三维)
view(37.5,30); %改变视角
title('弹道曲线图');
```



MATLAB可视化例题：三维矢量场





4-4 图像处理技术

- 图象的数据格式
- 图像压缩方法
- 图像增强技术
- 图像分析方法
- 图像识别方法



4-4 图像处理技术

- 图象的数据格式
 - 描述要点：各像素在点阵中的位置及像素的灰度值
 - 做法：像素在文件中的记录位置，来暗示其在图象点阵中的位置
 - 一维形式：
 - 文件头(描述文件特点、版本、设置等)
 - 数据流
 - $\{ gray(1), gray(2), \dots, gray(N),$
 - $gray(N+1), gray(N+2), \dots, gray(2N),$
 - $\dots$
 - $gray((M-1)*N+1), gray((M-1)*N+2), \dots, gray(MN)$
 - 图象数据的文件格式：
 - PCX, TIFF, TGA, Bitmap,
 - 不同的格式在信息内容的取舍与记录次序的不同



图象的数据格式：TIFF格式

- TIFF(Tagged Image File Format)
 - Aldus和Microsoft联合开发，较流行平台：Macintosh, PC和Unix工作站
 - 优点：
 - 对于介质之间的数据交换，TIFF是位图格式的最优选择。
 - TIFF与计算机结构、操作系统和图形硬件无关。
 - 文件组织：文件头、目录、数据



图象的数据格式：TIFF格式

例：

numberType: 18761	说明字节顺序由低到高， 低字节在先还是高字节在先
TIFF version: 42	TIFF的标识号
TIFF offset: 8	IFD首地址偏移量 (指向第一个IFD Image File Directory的指针)
TIFF entries: 15	标记数
tag: Subfile Type, TIFF Subfile: 0	
tag: Image width, Image width: 1126	图象宽
tag: Image length, Image length: 1129	图象长
tag: Bits Per Sample	每样值位数



图象的数据格式：TIFF格式

tag: Compression, TIFF Compress:	1压缩方式 (1=不压缩)
tag: PhotometricInterP, TIFF Photmet:	1照相翻译 (灰度图象)
tag: Stripoffsets, TIFF Stripoff:	194 条纹地址偏移值
tag: Samples perPixel, TIFF Samples:	1每像素样值数
tag: RowsperStrip, TIFFRowStrip:	1129每条纹图象行数
tag: StripByteCounts, TIFFbytecut:	28117条纹字节计数
tag: XResolution	
tag: YResolution	
tag: PlanarConfiguration, TIFFplancfg:	1每像素样值作为一个样值平面
.....	

*条纹是图象压缩的基本块，图象数据分为若干条纹便于压缩



图象数据的压缩方法

- 原因
 - 图象文件占用存贮空间大，如 $1024 \times 1024 \times 24$ 位需3兆字节。
 - 图象中常有大量相同的色块 (灰度值)。
- 方法
 - 压缩数据量的重要方法是消除冗余数据，从数学角度是将原始图像转化为尽可能不相关的数据集—**编码**。
 - 存储、传输数据前，采用**图像编码**，压缩数据；
 - 需要应用时，通过**图像解码**，解压缩数据，然后重建图像，恢复原图像或近似原因。
 - 信息保存型方法：压缩和解压缩后无信息损失，压缩率2~10。
 - 信息损失型方法：压缩和解压缩后不能完全恢复原状，压缩率可达几十~几百。



图象数据的压缩方法

BMP Picture

FF 00 00 (red)	FF 00 00 (red)	FF 00 00 (red)	00 00 00 (black)
00 00 FF (blue)	00 00 FF (blue)	00 00 FF (blue)	00 00 FF (blue)
00 00 00 (black)	00 FF 00 (green)	00 FF 00 (green)	00 FF 00 (green)
00 FF 00 (green)	00 FF 00 (green)	00 00 00 (black)	00 00 FF (blue)
00 00 FF (blue)	00 00 FF (blue)	00 00 FF (blue)	00 00 00 (black)
FF FF FF (white)	FF FF FF (white)	FF FF FF (white)	FF FF FF (white)

图象数据的压缩方法：行程长度压缩法

- 行程长度压缩法 Run-length Encoding
 - 将一系列重复值由一个单独的值和一个计数值代替。
例： `abbbbbbbccddddeeddd`
`1a7b2c4d2e3d`
 - 适用：有长重复值，如大面积连续阴影和颜色的图象。
 - 使用行程长度压缩的位图文件格式：
MacPaint、TIFF、GEM和Pcx

n(-127 ~ -1) 要重复的值

图象数据的压缩方法：霍夫曼编码法

- 霍夫曼编码法 (Huffman Encoding)
 - 例 `abbbccdddeeeeeeeef`
其中有6个唯一的值，它们出现的频率为：
a 1
b 3
c 3
d 2
e 9
f 1
 - 思路：将一对出现频率最低的元素配在一起，把这对元素当作一个元素，并组合它们的频率，继续这个过程，直到所有元素结合完成。

图象数据的压缩方法：霍夫曼编码法

- 霍夫曼编码的二叉树
 - 解释：a.f出现频率1次（最低）组合在一起，当作一个元素，a.f(总数为2)，与d配对
 - d 2
b.c 3
e 9

编码：

a	0000
f	0001 现频率低的用长编码
d	001
b	010
c	011
e	1 出现频率高的用短编码

图象数据的压缩方法：霍夫曼编码法

- 做法：
 - 精确统计文件中每个值的出现频率；
 - 产生统计结果；
 - 产生编码。
- 其他编码法
 - LZW压缩
 - 算术压缩

思考题：

用霍夫曼编码法对下述数据编码：
`aaaabbccddddeeeeeeffg`



图像增强方法

- **目的：**改善图像的视觉效果，并把图像处理成为适于计算机分析或控制的某种形式。
- **处理：**加强和突出图像的某些特征，包括以下操作：
 - **直接对象素进行的点操作**
 - 灰度变换法
 - 直方图修正法
 - 局部统计法
 - **对象素周围区域的局部区域操作**
 - **伪彩色技术**



图像增强方法:直接对象素进行的点操作

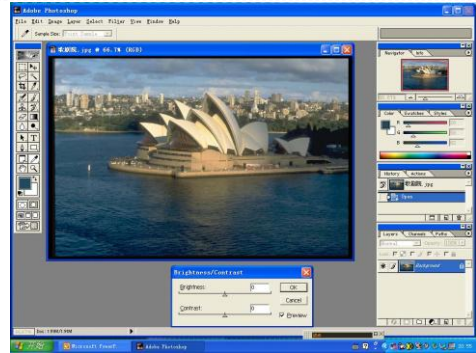
- **直接对象素进行的点操作**
 - **灰度变换法：**

对一定范围的象素值（由用户控制它们的最大输出值和最小输出值）进行线性变换，按照图像增强的映射规则，将其转换成另一灰度值。

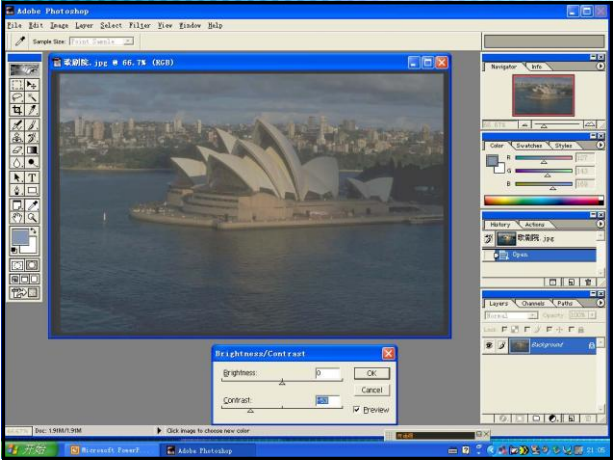
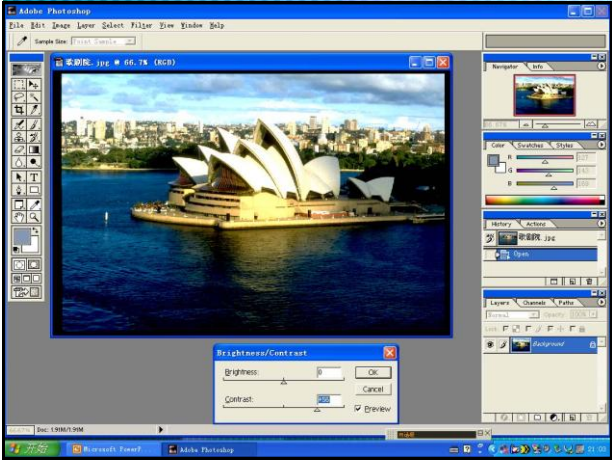
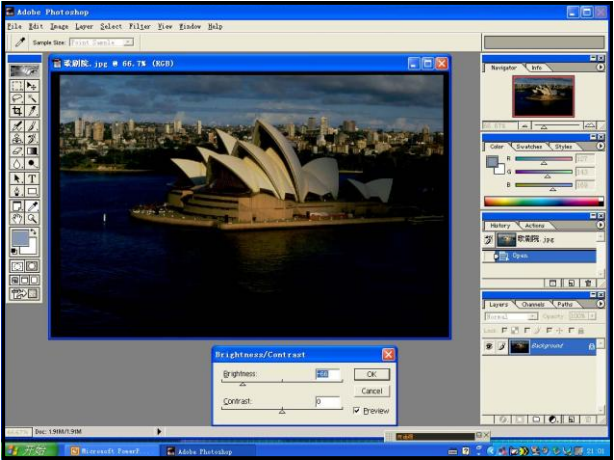
 - **增强对比度**
 - 对比度 (Contrast)：不同色彩之间的差异，对比度越大，色彩差异越大。
 - 增强对比度实际是增强原图各部分的反差，往往通过增加原图中某两个灰度值间的动态范围来实现。



直接对象素进行的点操作：灰度变换法



亮度/对比度





直接对象素进行的点操作：灰度变换法

- 若每个颜色值均乘以0.5

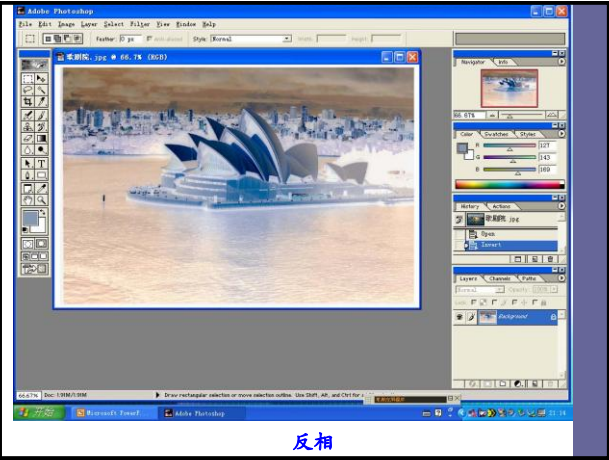
标量值	R值	G值	B值	颜色
0.000	0.0	0.0	0.5	50%兰
0.125	0.0	0.25	0.5	
0.250	0.0	0.5	0.5	
0.375	0.0	0.5	0.25	
0.500	0.0	0.5	0.0	50%绿
0.625	0.25	0.5	0.0	
0.750	0.5	0.5	0.0	
0.875	0.5	0.25	0.0	
1.000	0.5	0.0	0.0	50%红



直接对象素进行的点操作：灰度变换法

- 图像求反: $[R \ G \ B] = [1-R \ 1-G \ 1-B]$

标量值	R值	G值	B值	颜色
0.000	0.0	0.0	1.0	兰
	(1.0)	(1.0)	(0.0)	
0.125	0.0	0.5	1.0	兰-青
	(1.0)	(0.5)	(0.0)	
0.250	0.0	1.0	1.0	青
	(1.0)	(0.0)	(0.0)	
0.375	0.0	1.0	0.5	青-绿
	(1.0)	(0.0)	(0.5)	
0.500	0.0	1.0	0.0	绿
	(1.0)	(0.0)	(1.0)	
0.625	0.5	1.0	0.0	绿-黄
	(0.5)	(0.0)	(1.0)	
0.750	1.0	1.0	0.0	黄
	(0.0)	(0.0)	(1.0)	
0.875	1.0	0.5	0.0	橙
	(0.0)	(0.5)	(1.0)	
1.000	1.0	0.0	0.0	红
	(0.0)	(1.0)	(1.0)	



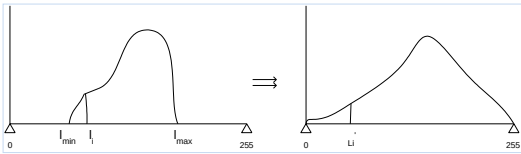
直接对象素进行的点操作：直方图修正法

- 直方图(density histogram)修正法
对图象的所有象素的灰度分布按灰度值的大小，显示其出现频度的统计图。
 - 水平方向：灰度值
 - 垂直方向：频度（某一灰度在图象中出现的次数）



直接对象素进行的点操作：直方图修正法

- 对比度/亮度变化

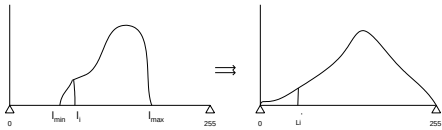


图象对比度小 图象对比度大（频度不变）



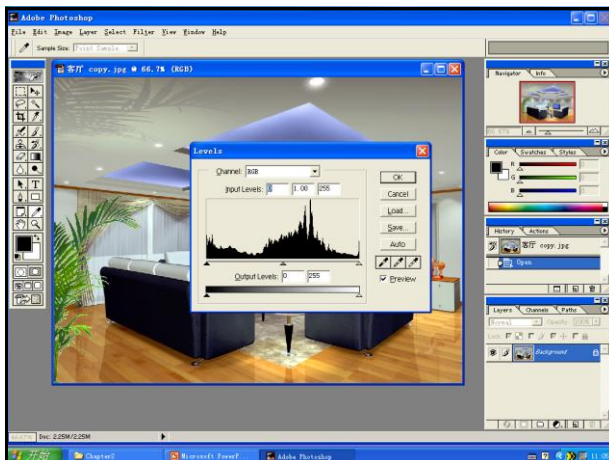
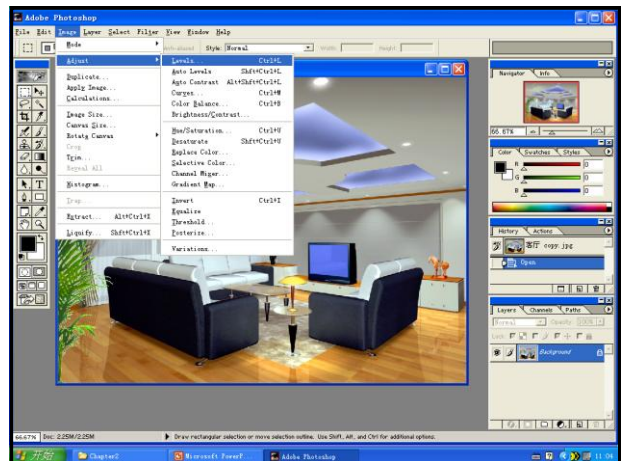
直接对象素进行的点操作：直方图修正法

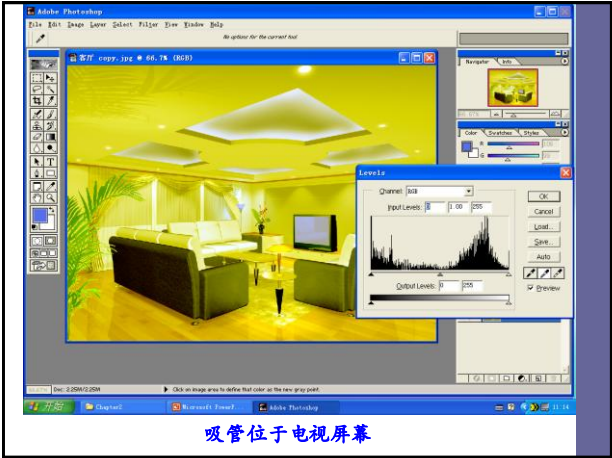
- 变换公式：
 $L'i(\text{变换后的灰度值}) = 255 \times (Li - l_{\min}) / (L_{\max} - L_{\min})$



$$\left(\frac{Li' - 0}{255} = \frac{Li - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}} \right)$$

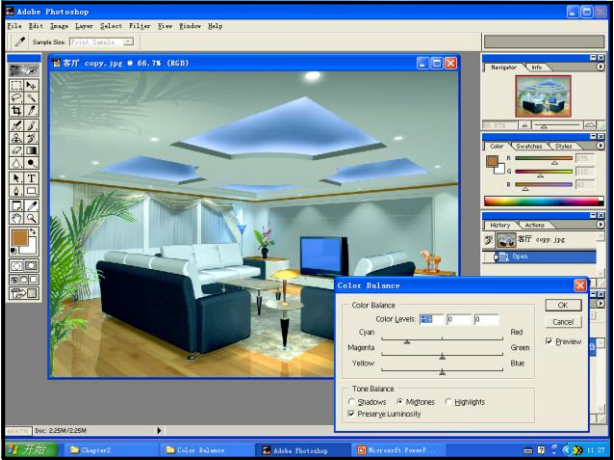
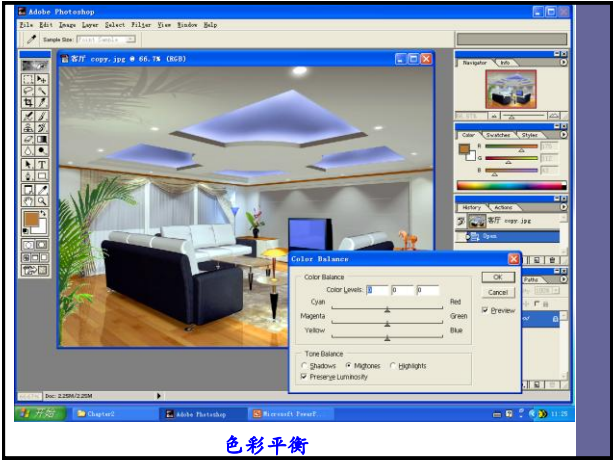
（把象素的分布扩展到全灰度域去）

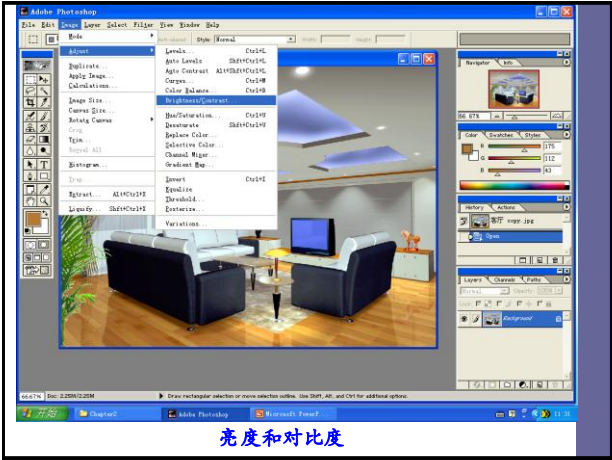
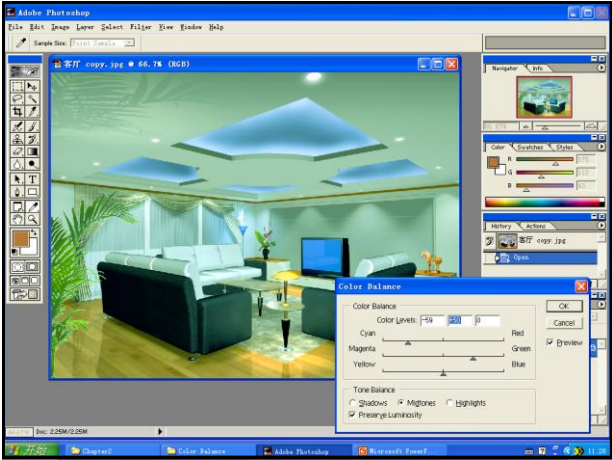




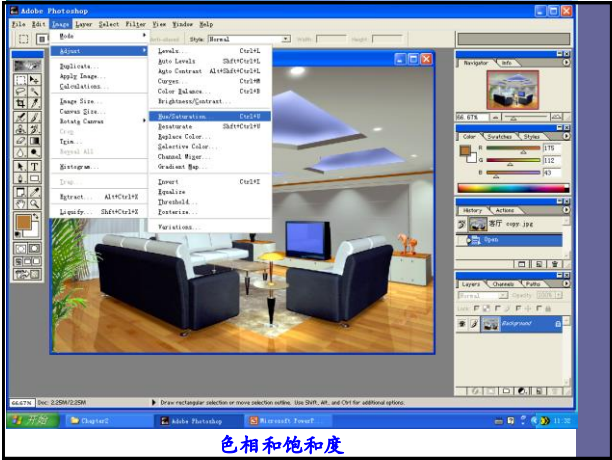
直接对象素进行的点操作：色彩平衡

- 色彩平衡
 - 当把红、绿、蓝三原色光射到屏幕上混合时，通过改变三者各自的强度比例可得到白色和其他各种色调和饱和度的彩色。
 - 色调：各种色彩模式下的色彩原色的明暗。
 - 色相 (Hue)：颜色的色调。
 - 饱和度 (Saturation)：物体颜色的彩度或色彩纯度。

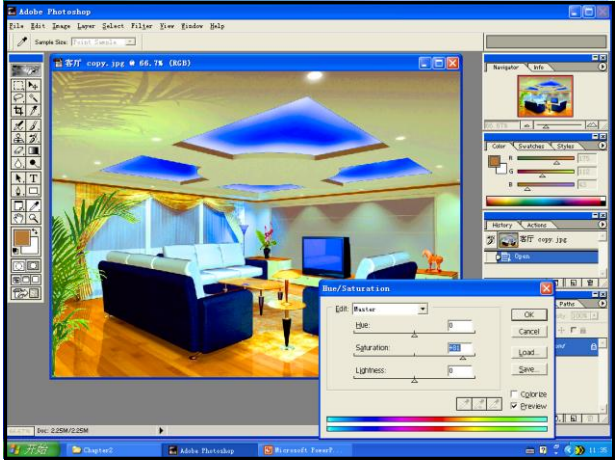


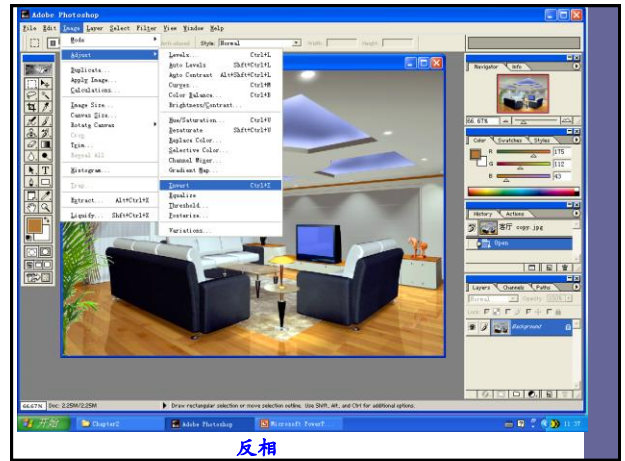
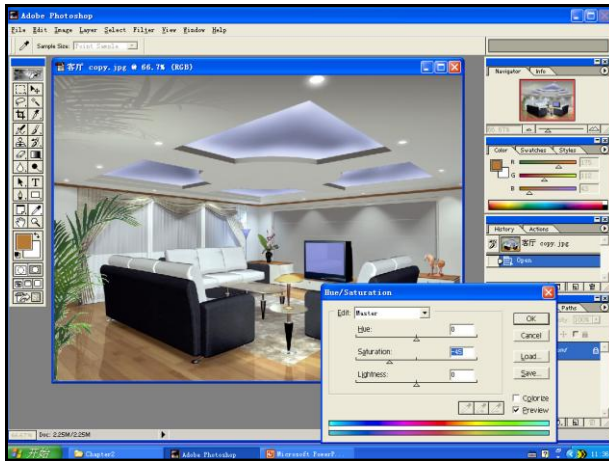


亮度和对比度

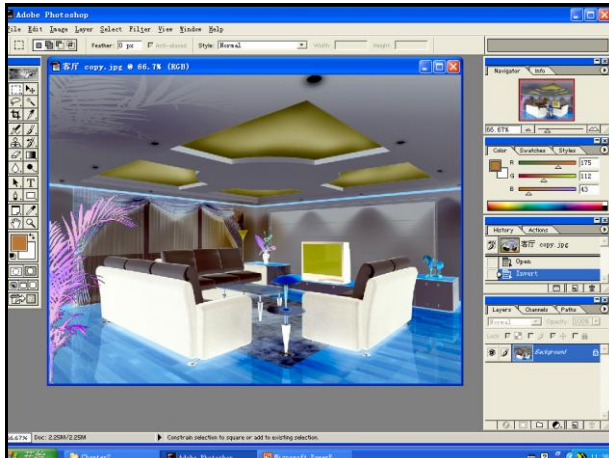


色相和饱和度





反相

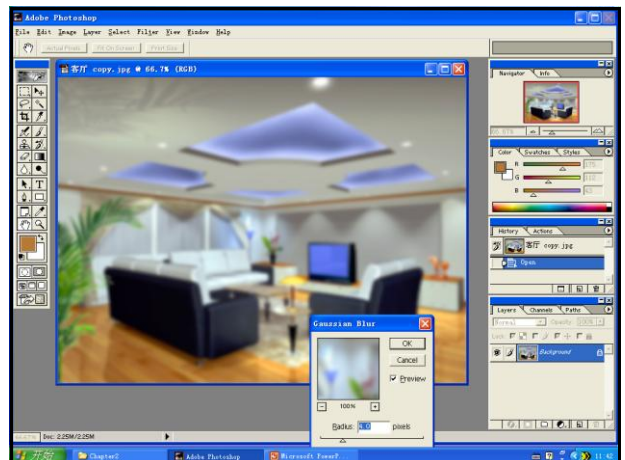


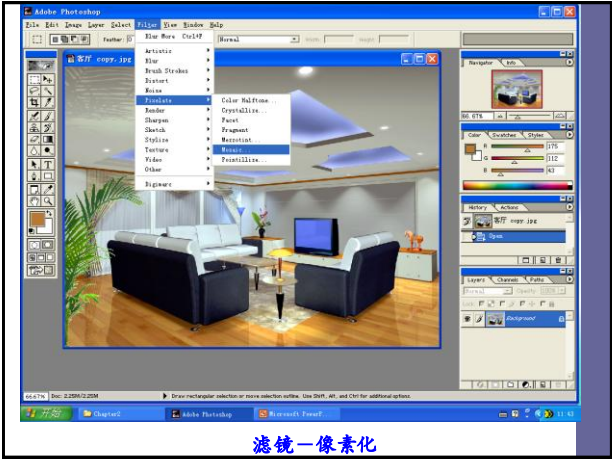
图象增强方法:对象素周围区域的局部操作

- 对象素周围区域的局部操作
 - 滤镜 (滤波) (Filter) : 利用像素本身以及其邻域像素的灰度关系进行图像增强的方法。
 - 图像的平滑滤波: 能减弱或消除图像中高频分量, 不影响低频分量, 以减少局部灰度起伏, 使图像变得比较平滑。
 - 高频分量对应图像中区域边缘等灰度值具有较大较快变化的部分。
 - 图像的锐化滤波: 能减弱或消除图像中低频分量, 不影响高频分量, 使图像反差增加, 边缘明显。
 - 低频分量对应图像中灰度值缓慢变化的部分。

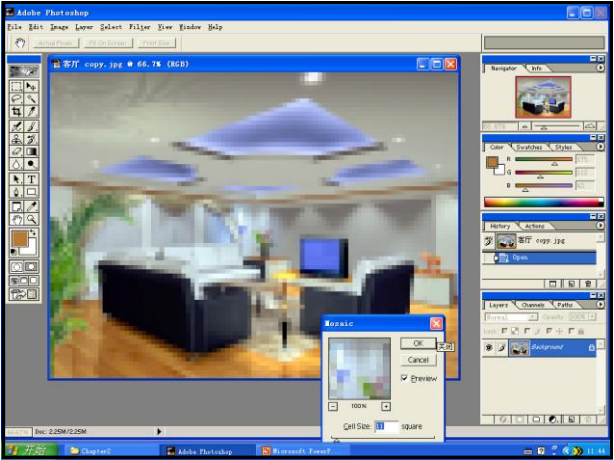


滤镜—模糊处理

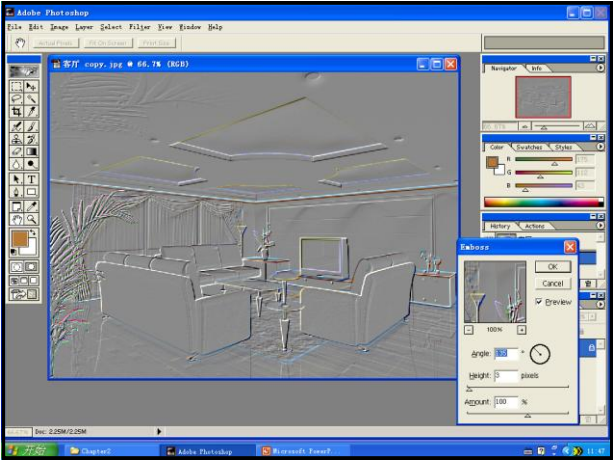




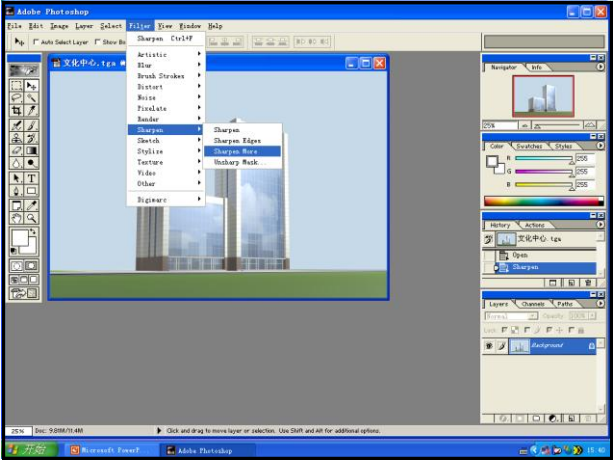
滤镜—像素化

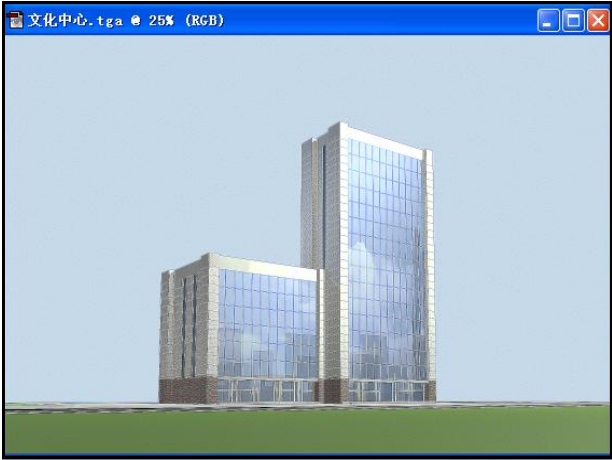


滤镜—风格化（浮雕效果）



滤镜—锐化

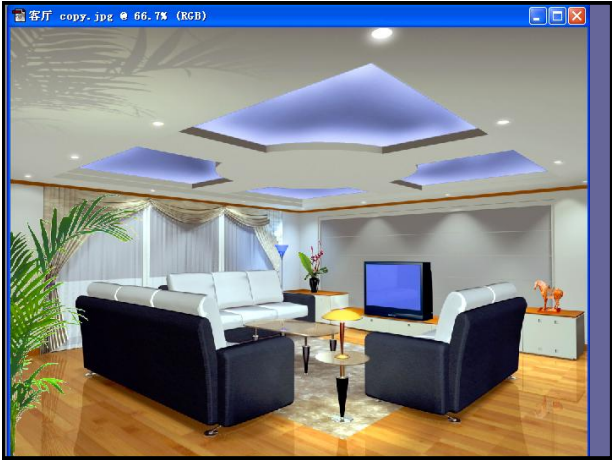




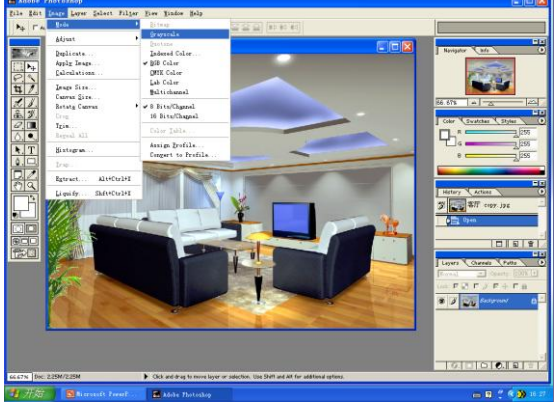


图象增强方法：伪彩色技术

- 伪彩色技术
 - 借助彩色来处理图像，以得到对人眼增强的视觉效果。
 - 人眼只能分辨几十种不同深浅的灰度级，但能分辨几千种不同的颜色。
 - 对原图中不同灰度值的区域赋予不同的颜色，以更明显地区分它们。
 - 因为原图并没有颜色，故人工赋予的颜色称为伪颜色。
 - 将灰度映射到彩色空间上，以突出数据特点。



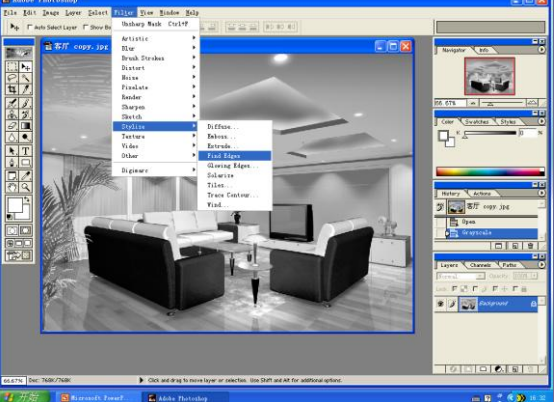




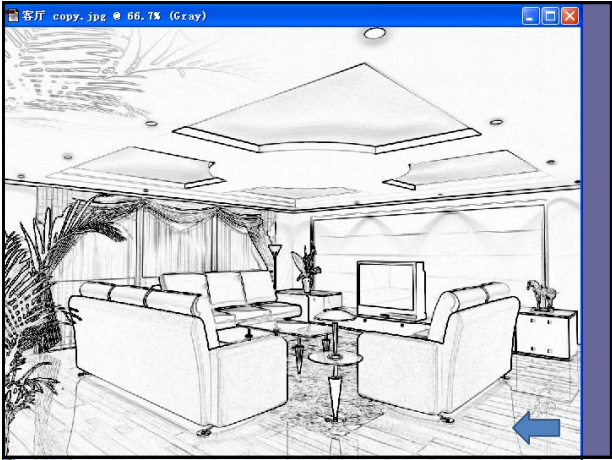
灰度模式







滤镜—风格化（提取轮廓）





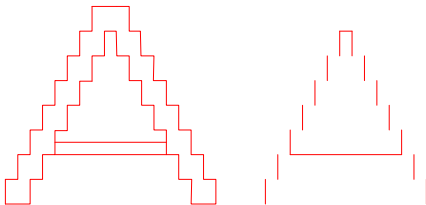
图象分析方法

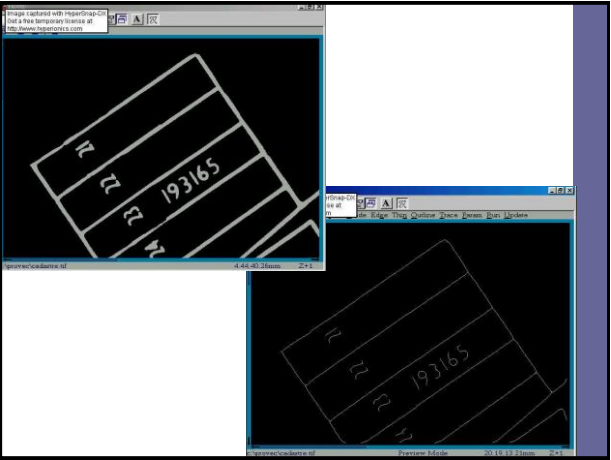
- 对图像中感兴趣的目标进行检测、测量和分析，以获得其客观信息，从而建立对图像和目标的描述。
 - 图像处理是从图像到图像的过程。
 - 图像分析是从图像到数据的过程。
- 应用
 - 模式识别
 - 点阵图形矢量化
- 图像分析技术
 - 边缘检测、图像分割
 - 目标表达、描述、测量
 - 目标颜色、形状、纹理、空间、运动等分析
 - 目标检测、提取、跟踪、识别和分类
 - 人脸和器官的检测、定位和识别（人体生物特征提取和验证）



图象分析方法：细线化技术

- 细线化技术
 - 将图象上的文字、曲线、直线等几何元素的线条沿着其中心轴线将其细化成一个像素宽的线条的处理过程。







图象分析方法：细线化技术

- Hilditch法
 - 用一个3×3的模板沿着像素的扫描方向移动，将图形边界的像素逐次削除，最后得到线宽为1的图形。

P ₄	P ₃	P ₂
P ₅	P ₀	P ₁
P ₆	P ₇	P ₈

- 背景像素 0
- 图形像素 1

- 根据P₀所对准的像素的上下左右像素的情况，判断该点是否该削除。



图象分析方法：细线化技术

- Hilditch使用下述7个函数:
 - ① $A(k)=1, (P_k \text{ 为图形像素}), k=0\sim8$
 $=0, (P_k \text{ 为背景像素})$
 - ② $B(k)=1-|A(k)|$
 - ③ $C(k)=1, (\text{若 } A(k)=1)$
 $=0, (\text{若 } A(k)\neq 1)$
 - ④ $D(k)=1, (\text{若 } |A(k)|=1)$
 $=0, (\text{若 } |A(k)|\neq 1)$
 - ⑤ $E(k)=1-|D(k)|$
 - ⑥ $F = \sum_{i=N_1} \{E(i) - E(i) \times E(i+1) \times E(i+2)\}, N_1 = \{1, 3, 5, 7\}$
 - ⑦ $G(k)=F^*$, $k=0\sim 8$
(F^* 是 $A(k)=0$ 时的 F)



图象分析方法：细线化技术

处理过程：

① 对全部像素逐个进行：将模板沿扫描方向移动，当下列6个条件全部满足时，中心像素位置为-1，否则不作任何改变。

条件1: $A(0)=1$ (中心像素为图形部分)

条件2: (中心像素不是背景与图形的边界)

$$\sum_{i=N2} B(2i-1) \geq 1, N2 = \{1,2,3,4\}$$

例：

$$i=1 \quad B(2i-1)=1-|A(2i-1)|$$

(即 $B(1)=1-|A(1)|$)

若 $A(1)=0$, 则 $B(1)=1$
中心像素不是边界

若 $A(1)=1$, 则 $B(1)=0$
中心像素是边界

	1	
1	1	1
	1	

4	3	2
5	p_0	1
6	7	8



图象分析方法：细线化技术

条件3:

$$\sum_{i=N3} |A(2i-1)| \geq 2, \quad N3 = \{1,2,3,4\}$$

(判断是否为端点像素) 保证端点像素仍被保留。

条件4: $\sum_{i=N3} C(i) \geq 1$ (判断是否孤立点) 保证孤立点仍被保留

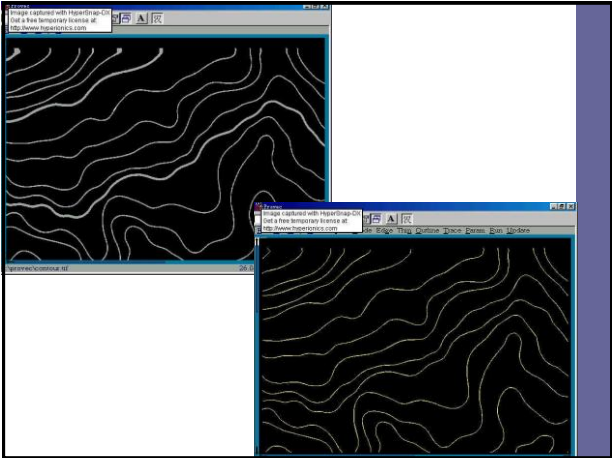
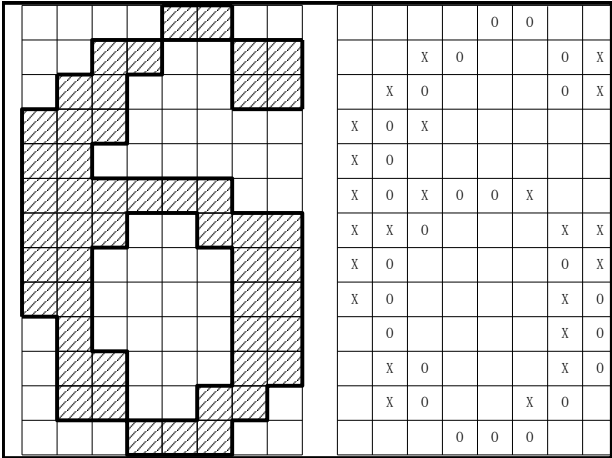
条件5: $F=1$ (判断连结性) 保证连结性

条件6: $A(i) \neq -1$

或 $G(i)=1, i \in N3$

(线宽为2的部分只剔除其一侧)

② 将已赋成-1的像素全部置为X (即剔除)，再次重复步骤①。直至不再有满足条件①的点。



图象分析方法：轮廓线追踪

轮廓线追踪

用于点阵图形(图象)矢量化

设背景—黑，图形—白

① 沿图象扫描方向搜索，检查像素为白还是黑

- 把最先检出的白像素作为轮廓线追踪的起点(此起点像素属于全画面中白像素中的最上、最左边位置)
- 设该像素为 P_1 。

② 考虑一个以 P_1 为中心的 3×3 模板，从1号像素开始检查黑白

- 把最初遇到的像素设为 P_2 。(若本行或本列已检到一个像素则跳过)。
- 1~8全为黑像素，则 P_1 为孤立点，中止追踪。

7	6	5
8	P_1	4
1	2	3

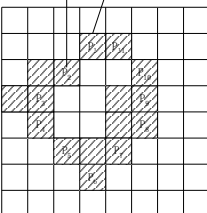


图象分析方法：轮廓线追踪

③ 假定已经检出 P_n ，将 P_n 作为模板中心像素，按②法搜索 P_{n+1} ，

- 若 $P_n=P_1, P_{n+1}=P_2$ ，则表明 $P_1, P_2, \dots, P_{n-1}$ 已形成一个闭环，中止本条轮廓线的追踪。
- 点列 $P_1, P_2, \dots, P_{n-1}$ 为要找的第一条轮廓线。

例：



7	6	5
8	P_1	4
1	2	3

对开口的处理，若在附近搜索不到白点，则为断点。



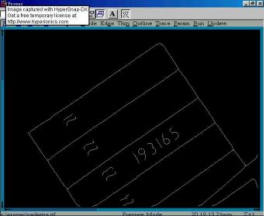
印度Bhuj地震灾害识别与分类

- 倒塌建筑
- 部分损坏建筑
- 基本完好建筑

其中：红色部分为倒塌建筑；绿色部分为中等及严重损坏的建筑；灰色部分为完好或基本完好的建筑；凡不是建筑物的部分，被过滤掉并显示为黑色区域。

图象识别方法

- 基本原理：
 - 将输入的图形模式与事先准备好的大量的标准模式进行对比，确定输出模式与哪一个标准模式一致，然后把这个标准模式所代表的对象作为识别结果。
- 手段
 - 用特征来描述图象模式。

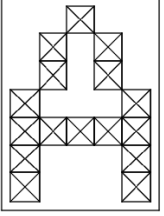


图象识别方法：人工神经网络方法

- 人工神经网络方法进行字符识别

LetterA=[0 0 1 0 0...
0 1 0 1 0...
0 1 0 1 0...
1 0 0 0 1...
1 1 1 1 1...
1 0 0 0 1...
1 0 0 0 1];

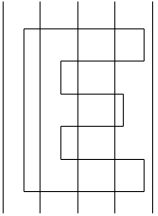
(...表示接下行
'矩阵转置')



letter Z= [1 1 1 1 1...
0 0 0 0 1...
0 0 0 1 0...
0 0 1 0 0...
0 1 0 0 0...
1 0 0 0 0...
1 1 1 1 1];

图象识别方法：狭缝法

- 狭缝法：
 - 把图形平面分成等宽的窄条，将每个狭缝切出的图形的波形作为特征量。

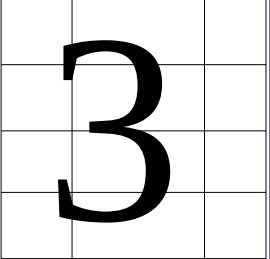


图象识别方法：特征线法

- 特征线法
 - 将图形与特征线的交点作为特征量。

步骤：

- 将预先准备好的许多标准图象模式进行特征抽取，并保存。
- 对任意一个输入的图象模式，用相同方法抽取特征量 $I_1, I_2, \dots, I_n$ 。
- 求各点的相似距离 $D = \left\{ \sum_{i=1}^n (M_i - I_i)^2 \right\}^{1/2}$ ($M_1, M_2, \dots, M_n$ 为某个标准模式的特征量)
- 若第 j 个标准模式的相似距离值 D_j 为所有距离值 D 中的最小一个，即为所求。



4-5 CAE可视化应用

- 城市规划三维可视化
- 城市土地及市政管理可视化
- 有限元分析的可视化
- 土木建筑CAD可视化
- 工程结构破坏机理实验及数值分析可视化
- 灾害数值模拟可视化
- 结构灾害反应分析可视化
- 施工管理及过程模拟可视化
- 管理信息可视化
- ...



主要参考文献

- 崔怡.“MATLAB5.3实例详解”，航空工业出版社
- 张志涌等.掌握和精通MATLAB.北京航空航天大学出版社
- 林雪松等，MATLAB7.0应用集锦，机械工业出版社
- 章毓晋编著，图像工程（第2版），清华大学出版社
- 蒋君乐.张量数据可视化及其科学应用



本章学习重点

- 了解标量场的可视化技术
- 了解矢量场的可视化技术
- 掌握MATLAB的相关命令
- 了解图像增强技术
- 掌握Photoshop的相关操作
- 了解图像分析和图像识别的相关方法



提高内容参考

- 科学计算可视化：
 - 开发一个程序，实现二维向量、三维向量的可视化；
 - 开发一个程序，实现二维标量的可视化，且可以在柱状图、折线图、饼图等方式间快速转换；
 - 深入讨论各种图像增强方法的技术、适用范围和应用案例；
 - 开发一个程序，实现图像的多种增强效果（如变清晰、变明亮、色彩比较柔、对比度增大等）；
 - 开发一个程序，实现地震灾害后建筑物的破坏程度识别；



谢谢！

清华大学土木工程系

胡振中

huzhenzhong@tsinghua.edu.cn