

# 图形瑰宝

第三册

david kirk 著

郭飞 译

2022年



# Contents

1	图像处理	5
1.1	位图快速拉伸 . . . . .	6
1.2	一般的滤波图像缩放 . . . . .	10
1.3	位图缩放操作的优化 . . . . .	17



# 第 1 章 | 图像处理

本章中的所有算法都涉及对图像或像素的二维数组执行的操作。通常，图形程序员可能想要更改图像的大小、颜色或其他功能。前三个算法描述了在各种环境下拉伸或缩放图像的技术。第一条强调速度，而第二条强调质量。第四个算法描述了一种使用简化的颜色集显示全彩色图像的方法。

在某些情况下，将多个图像的特征组合起来是很有用的。第七个算法将我们现在熟悉的图像组合代数应用于黑白位图或1位图像。第八个算法讨论了如何有选择地模糊两幅图像，同时结合它们，以模拟相机的光圈景深效果。

有时，期望的结果不是另一个图像，而是图像中某些特征的另一种表示。第五、第六和第九算法描述了从图像中提取区域边界信息的技术。

## 1.1 位图快速拉伸

Tomas Möller

Lund Institute of Technology Hoganas, Sweden

### 介绍

这里提出了一个整数算法，用于将位图的任意水平线或垂直线拉伸到任何其他任意直线上。该算法可用于要求接近实时性或实时性的绘图和绘图程序。应用程序区域的例子包括扩大和缩小位图的矩形区域，以及将矩形区域包装到圆形区域上。

### 算法

程序本身非常简单，大多数计算机图形程序员可能都熟悉它所基于的Bresenham划线算法(1965)。事实上，它可以基于任何画线算法；然而，Bresenham被选中，因为它是基于整数的，并且在计算机图形社区中非常普遍。对于那些不熟悉Bresenham算法的人来说，伪代码用于在第一个八边形中绘制线段。

---

**Algorithm 1:** Line( $x_1, y_1, x_2, y_2$ )

---

**input** : 由点( $x_1, y_1$ )和点( $x_2, y_2$ )构成的线段

**output:** 将线段绘制到位图上

// 从( $x_1, y_1$ )到( $x_2, y_2$ )在第一个八边形内画一条线；所有变量都是整数

$dx \leftarrow x_2 - x_1$

$dy \leftarrow y_2 - y_1$

$e \leftarrow 2 * dy - dx$

**for**  $i \leftarrow 1, i \leq dx, i \leftarrow i + 1$  **do**

    WritePixel ( $x_1, y_1$ ) // 在图上显示( $x_1, y_1$ )

**while**  $e \geq 0$  **do**

$y_1 \leftarrow y_1 + 1$

$e \leftarrow e - 2 * dx$

$x_1 \leftarrow x_1 + 1$

$e \leftarrow e + 2 * dy$

---

上面的伪代码也适用于第二个八分位数，但是在这种情况下，行不会是连续的，因为 $x_1$ 总是递增1。这非常适合算法。

让我们回到拉伸算法的解释上。 $x_1$ 和 $y_1$ 不能被解释为二维直线上的一对坐标，它们必须被解释为一维坐标。 $dx$ 必须解释为目标线的长度， $dy$ 是源线的长度。使用这些解释， $x_1$ 是目标线上的坐标， $y_1$ 是源线上的坐标。对于目标线上的每个像素，从源线上选择一个像素。这些像素以统一的方式选择。参见图1.1.1。

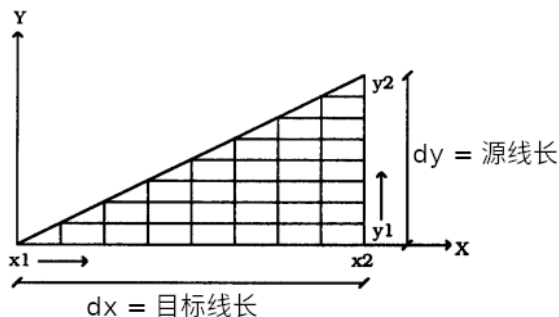


Figure 1.1.1: 源线与目标线

如果 $dx$ 大于 $dy$ ，那么目标线比源线长。因此，在绘制到目的线上时，源线将被放大。另一方面，如果 $dy$ 大于 $dx$ ，源线就会减小。如果 $dx = dy$ ，算法会得到与源相同的直线。下面是伪代码中完整的stretcher算法，重写后能够处理 $x_2 < x_1$ 和 $y_2 < y_1$ 的行。

如果 $x$ 等于0，那么符号函数不需要返回0，因为 $dx$ 或 $dy$ 都等于0，这意味着一条长度为1的直线。由于该算法只使用整数运算，而不使用乘法或除法，因此非常高效和快速。

这个小程序的另一个有趣之处是，它可以用来生成几种不同形状的位图。下面列出了一些可以用来渲染的东西。

### 一些项目使用位图扩展器

- 包裹在圆形或椭圆形区域上的矩形图片。关于绕圈，请参阅附录中的源代码。
- 放大和缩小位图的矩形部分。参见附录中的源代码。

---

**Algorithm 2:** Stretch( $x_1, y_1, x_2, y_2, yr, yw$ )
 

---

**input :****output:**

// 从( $x_1, y_1$ )到( $x_2, y_2$ )在第一个八边形内画一条线；所有变量都是整数

// 将源线( $y_1 \quad y_2$ )延伸到目标线( $x_1 \quad x_2$ )。

// 源线和目标线都是水平的

//  $yr$  =从其中读取像素的水平线

//  $yw$  =要写入像素的水平线

// ReadPixel( $x, y$ )返回像素( $x, y$ )处的颜色

// WritePixel( $x, y$ ) 用当前颜色写入( $x, y$ )处的像素

// SetColor(Color) 设置当前写入的颜色为Color

$dx \leftarrow \text{abs}(x_2 - x_1)$

$dy \leftarrow \text{abs}(y_2 - y_1)$

$sx \leftarrow \text{sign}(x_2 - x_1)$

$sy \leftarrow \text{sign}(y_2 - y_1)$

$e \leftarrow 2 * dy - dx$

$dx2 \leftarrow 2 * dx$

$dy \leftarrow 2 * dy$

**for**  $i \leftarrow 1, i \leq dx, i \leftarrow i + 1$  **do**

$\text{color} \leftarrow \text{ReadPixel}(x, y)$

    SetColor (Color)

    WritePixel( $x_1, yw$ )

**while**  $e \geq 0$  **do**

$y_1 \leftarrow y_1 + sy$

$e \leftarrow e - dx2$

$x_1 \leftarrow x_1 + 1$

$e \leftarrow e + 2 * dy$

---



- 将位图的矩形部分绕平行梯形包绕。例如，一个绕x或y轴旋转，然后进行透视转换的矩形可以用作目标形状。

### 进一步的工作

为了改进算法，也许可以添加一个抗锯齿例程.

See also G1, 147; G1, 166; G3, A.2.

## 1.2 一般的滤波图像缩放

Dale Schumacher

St. Paul, Minnesota

栅格图像可以看作是连续二维函数 $f(x, y)$ 的样本的矩形网格。这些样本被假定为连续函数在给定样本点的精确值。理想的光栅图像缩放程序包括重建原始的连续函数，然后以不同的速率重新采样该函数(Pratt, 1991;Foley *etal.*, 1990 )。采样率越高(采样越靠近)，采样就越多，图像也就越大。采样率越低(采样间隔越远)产生的样本越少，因此图像越小。幸运的是，我们不需要真正地重建整个连续函数，而只是确定重建函数在与新样本对应的点上的值，这是一个更容易的任务(Smith, 1981)。仔细选择过滤器，这个重采样过程可以分两步进行，首先水平地拉伸或缩小图像，然后垂直地拉伸或缩小(反之亦然)，可能有不同的比例因子。双通道方法的运行时成本 $O(\text{image\_width} * \text{image\_height} * (\text{filter\_width} + \text{filter\_height}))$ 比简单的二维过滤 $O(\text{image\_width} * \text{image\_height} * \text{filter\_width} * \text{filter\_height})$ 要低得多。

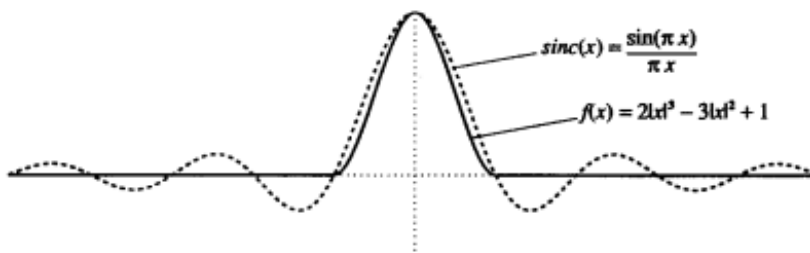


Figure 1.2.1: *sinc*示例

放大图像的过程有很多名字，包括放大、拉伸、缩放、插值和上采样。我将把这个过程称为放大。缩小图像的过程也有很多名字，包括缩小、缩小、按比例缩小、抽取和下采样。我将把这个过程称为简化。这些过程将在一维而不是二维中进行解释，因为缩放是在每个轴上独立进行的。

在放大过程中，我们通过应用滤波函数来确定每个源像素对每个目标像素的贡献。采样理论表明，*sinc*函数 $f(x) = \sin(x)/x$ 是理想的重构函数;然而，我们有一个有限的样本集，并且需要一个具有有限支持的过滤器(即过滤器非零的区

域)。我在这个例子中使用的过滤器是一个三次函数， $f(x) = 2|x|^3 - 3|x|^2 + 1$ ，从-1到+1，当单独应用时，它覆盖了每个样本的单位体积。图1比较了这些过滤函数。重采样滤波器的设计是一个没完没了的争论的来源，超出了这个宝石的范围，但在许多其他作品中讨论(Pratt, 1991; Turkowski, 1990; Mitchell, 1988; Smith, 1982; Oppenheim and Schaffer, 1975; Rabiner and Gold, 1975)。为了应用滤镜，我们将滤镜函数的副本放在每个源像素的中心，并缩放到该像素的高度。对于每个目标像素，我们计算源图像中相应的位置。我们将这一点上加权滤波函数的值相加，以确定目标像素的值。图1.2.2说明了这个过程。

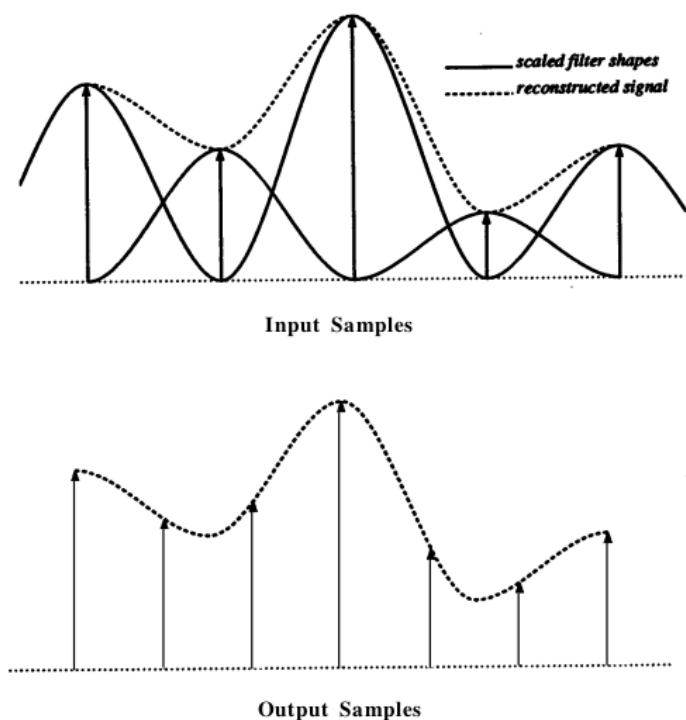


Figure 1.2.2: 滤波示例

在缩小过程中，过程是相似的，但不完全相同，因为我们必须考虑频率混叠。采样理论将奈奎斯特频率定义为能够正确捕获连续源信号中所有频率成分的采样率。奈奎斯特频率是源信号中最高频率分量频率的两倍。任何频率成分高于采样率的一半将被不正确地采样，并将被混叠到一个更低的频率。

因此，重构信号将只包含采样率的一半或更少的频率成分。在放大过程中，我们拉伸重构信号，降低其分量频率。然而，在缩小过程中，我们正在缩小重构

信号，提高其分量频率，并可能超过我们新的采样率的奈奎斯特频率。为了创建合适的样本，我们必须消除重采样奈奎斯特频率以上的所有频率成分。这可以通过图像缩小因子拉伸滤波函数来实现。此外，由于每个源像素处的滤波器更宽，和将按比例更大，并应除以相同的因子进行补偿。图1.2.3说明了这个过程。

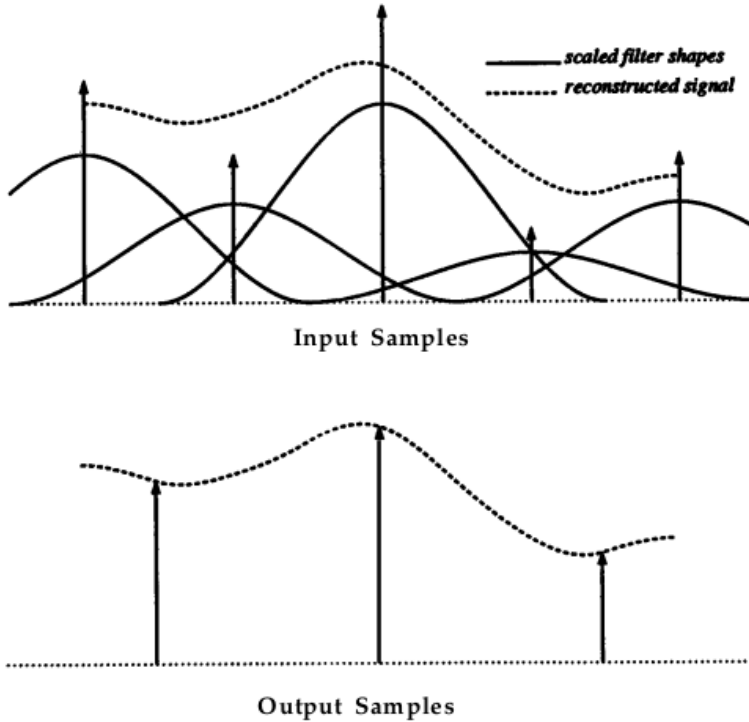


Figure 1.2.3: 滤波示例

到目前为止，我们只考虑了一维情况。我们将其扩展到典型的光栅图像的二维情况，首先水平缩放，然后垂直缩放。这里将不再演示缩放最小目标轴的进一步优化。滤波操作会导致大量的计算，所以我们尽可能多地预先计算。每个行(或列)的缩放过程是相同的。过滤器的位置和面积是固定的;这样，我们就可以预先计算出每个目标像素的贡献者和相应的滤波器权值。计算目标像素贡献者的伪代码如3。

在计算出贡献之后，目标图像的所有行(或列)都可以使用相同的预计算的过滤器值进行处理。下面的伪代码4显示了这些值用于扩展单个目标行的应用程序。

然后将相同的过程应用于图像的列—首先根据垂直比例因子(可能与水平比

---

**Algorithm 3:** calculate\_contributions(destination)

---

**input :****output:**scale  $\leftarrow$  dst\_size/src\_size;center  $\leftarrow$  destination/scale;**if** scale < 1.0 **then**    width  $\leftarrow$  filter\_width/scale;    fscale  $\leftarrow$  1.0/scale;**else** width  $\leftarrow$  filter\_width;fscale  $\leftarrow$  1.0;

;

left  $\leftarrow$  floor (center - width);right  $\leftarrow$  ceiling (center + width);**for** source  $\leftarrow$  left, source  $\leftarrow$  source + 1, source  $\leq$  right **do**    weight  $\leftarrow$  filter ((center - source)/fscale)/fscale;    add\_contributor (destination, source, weight);

---

---

**Algorithm 4:** scale\_row(destination\_row, source\_row)

---

**input :****output:****for** i  $\leftarrow$  0, i  $\leftarrow$  i + 1, i < dst\_size **do**    v  $\leftarrow$  0;        **for** j  $\leftarrow$  0, j  $\leftarrow$  j + 1, j < contributors[i] **do**            s  $\leftarrow$  contributor[i][j];            w  $\leftarrow$  weight\_value[i][j];            v  $\leftarrow$  v + (source\_row[s]\*w);        destination\_row[i]  $\leftarrow$  v;

---

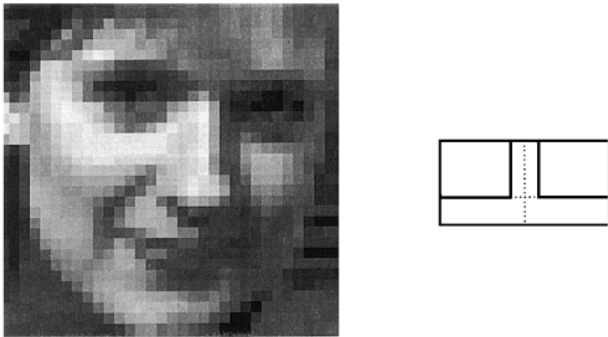


Figure 1.2.4: 滤波示例

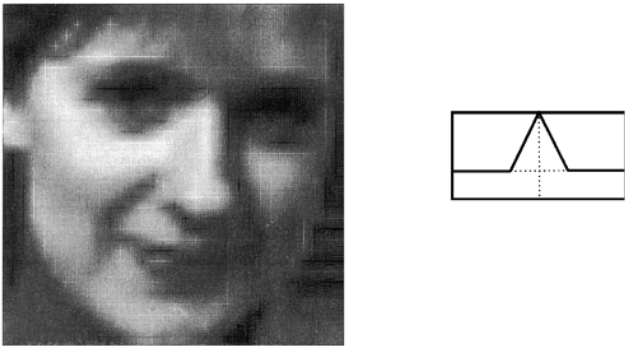


Figure 1.2.5: 滤波示例



Figure 1.2.6: 滤波示例



Figure 1.2.7: 滤波示例



Figure 1.2.8: 滤波示例

例因子不同)预计算过滤器的贡献, 然后处理从中间(水平比例)图像到最终目标图像的列。

在附录中提供的源代码中, 给出了许多过滤器函数, 可以很容易地添加新的函数。`zoom()`函数以所需过滤器的名称和过滤器支持作为参数。图1.2.4到图1.2.8显示了不同滤波器对样本图像的影响, 以及每个滤波器函数的脉冲响应图。

样本图像在两个方向上都按比例放大了12倍。图1.2.4显示了一个框过滤器, 它相当于直接复制像素值, 因为它显示了相当多的平铺或“锯齿”。图1.2.5显示了三角形或Bartlett滤波器, 相对于方框来说是一个相当大的改进, 计算仍然简单, 但仍然有明显的过渡线。图1.2.6显示了一个三次b样条, 它没有产生尖锐的过渡, 但是它的宽度导致了过度的模糊。三角形和b样条函数分别通过盒形滤波器与自身卷积1次和3次来计算。图1.2.7显示了Lanczos 3滤波器, 一个在 $-3$ 到 $+3$ 范围外衰减为零的 $\text{sinc}$ 函数, 它显示了在完全 $\text{sinc}$ 函数时出现的过度的“振铃”效应。图1.2.8显示了Mitchell滤波器( $B = \frac{1}{3}, C = \frac{1}{3}$ ), 一个没有急剧过渡的三次函数, 以及“振铃(ringing)”和“模糊(blurring)”效果之间的一个很好的折衷。

See also G1, 147; G1, 166; G3, A.1.



## 1.3 位图缩放操作的优化

Dale Schumacher

St. Paul Minnesota

这一节描述了一系列位图缩放操作的优化。我们没有给出一般的缩放算法，而是利用了几个特定于应用程序的限制，这些限制允许显著减少执行时间：每像素图像的位、已知的源和目标位图大小、以及位压缩的水平光栅存储和显示格式。示例应用程序是在典型的视频监视器上显示传真位图图像。

我们首先假设在内存中有源FAX，未压缩，存储为8位字节，每个字节的高阶位表示沿水平行的一组8个字节中最左边的像素。此外，在选择示例缩放因子时，我们假设源FAX的分辨率在两个方向上都是200点每英寸。如果数据是常用的 $200 \times 100$  dpi格式，我们可以通过复制每个扫描线使其为 $200 \times 200$  dpi，这是我们在解压阶段经常可以处理的任务。最初，我们将假设数据存储为与显示所用的位值匹配的白色和黑色位值。下面将讨论一种反演0位和1位含义的好方法。最后，我们假设目标位图的格式与源位图相同。

由于我们的示例图像分辨率高于您的典型视频监视器，我们将只考虑缩小图像的情况，而不是放大它。同样，我们用8来表示比例因子， $\frac{7}{8} = 87.5\%$ ， $\frac{6}{8} = 75\%$ ， $\frac{5}{8} = 62.5\%$ ， $\frac{4}{8} = 50\%$ ， $\frac{3}{8} = 37.5\%$ ， $\frac{2}{8} = 25\%$ 。一般算法工作如下：从源图像中取一条扫描线。对于每个字节，使用字节值作为查找表的索引，该查找表给出给定输入字节的简化位。将派生的输出位移位到累加器中。每个输入字节加到累加器的位数是基于比例因子的（例如，如果我们减少到 $\frac{5}{8}$ 比例，我们为每个8位输入生成5位输出）。当累加器中至少有8位时，我们从累加器中删除最左边的8位，并将它们作为输出字节写入目标扫描行。扫描线末端剩余的任何位都会被移到相应的位置并输出。许多源扫描线可以完全跳过，再次基于比例因子（例如，在 $\frac{5}{8}$ 的比例下，我们每8个扫描线中只处理5个，跳过3个）。

既然已经理解了基本的算法，我们可以讨论一些有用的变化和改进过程。该算法的核心是约简查找表。如果我们需要反转最终图像中的黑白图像，一种方法是反转查找表中存储的位。然后，它将映射到1111b，而不是00000000b映射到00000b。这本质上给了我们在缩放期间免费的光度反演。类似地，通过仔细创建查找表，我们可以解决另一个问题，同样是免费的。如果我们缩小到 $\frac{3}{8}$ 的比例，我们将在每8位中寻找3个来输出。图1.3.1a显示了这样做的最简单的方法。

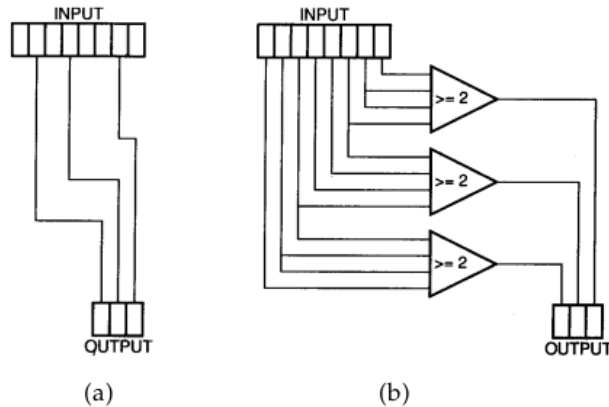


Figure 1.3.1: 缩放操作

一个更好的方法是模拟一种对源比特进行滤波或加权平均的形式，如图1.3.1b所示。由于查找表可以在编译时创建，所以使用更复杂的算法创建表的计算成本与运行时性能无关。为了进行适当的过滤缩放，我们真的应该跨相邻扫描线和跨字节边界应用过滤器。由于这些操作会带来很高的运行时成本，并且以有限的方式应用过滤，我们可以在没有额外成本的情况下展示改进，所以我们做的是便宜的事情。即使在这些限制条件下，使用滤波也比直接对输入进行子采样要好，如图1.3.1a所示。

您喜欢的任何类型的传递函数都可以以同样的方式应用，在8位跨度的限制内，并且仅以黑白作为输入值。您甚至可以做一些事情，如反转位的顺序，这可以与不同的存储顺序一起使用，以使图像从左到右翻转，或将其旋转180度(以防有人将图像倒过来输入扫描仪)。将表扩展到16位，这将占用128Kb的内存，而不是8位表使用的256b，从而提供了更大的灵活性。使用16位时，您可以使用更大的跨度，并且可以选择16倍而不是8倍的比例因数，这可能会使您的视频显示尺寸更匹配。这些技术以及附录中给出的示例代码只是简单的构建块。检查您自己的应用程序的约束，以找到更多应用这些原则和提高代码性能的方法。

See also G1, 147; G1, 166; G2, 57; G2, 84.

## 1.4 一个简单的减色滤镜

Dennis Bragg  
Graphics Software Inc.  
Bullard, Texas

### 1.4.1 介绍

提出了一个简单的滤波器，将一个24位的彩色光栅图像减少到15位有效位，并消除了可见的颜色步进问题。所得到的图像可以直接显示在16位帧缓冲器上，或用作颜色量化方法的输入，以进一步减少图像中的颜色数量。

光栅图像通常存储为一个24位像素数组，8位分配给每个红、绿、蓝(RGB)组件。每个RGB组件包含256种可能的强度级别。图1(见彩色插入图)是一个24位图像，使用了2215种不同的颜色。注意彩色球平滑连续的阴影。