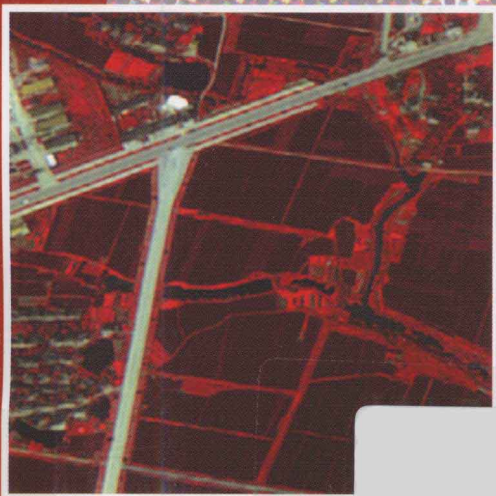


# 图像超分辨率重建

张良培 沈焕锋 张洪艳 袁强强 著



TUXIANG  
ENBIANLU  
JIAN



科学出版社

# 图像超分辨率重建

张良培 沈焕锋 张洪艳 袁强强 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是作者近十年的研究工作总结。全书共分为 8 章,前两章主要介绍了图像超分辨率重建的基础知识,包括技术产生的背景、基于原理与方法、发展与应用现状等。第 3~8 章针对不同的技术问题,详细阐述了作者发展的各种超分辨率重建方法,主要包括超分辨率重建的联合求解方法、空间自适应超分辨率重建方法、正则化参数的自适应求解方法、高光谱图像的超分辨率重建方法、光学变焦序列图像的超分辨率重建方法和多时相遥感图像的超分辨率重建方法。

本书适合研究图像超分辨率的科研人员参考,也可供相关专业的研究生和技术人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

图像超分辨率重建/张良培等著. —北京:科学出版社,2012.8  
ISBN 978-7-03-035236-1

I. ①图… II. ①张… III. ①图像超分辨率 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 174108 号

责任编辑:杨瑰玉 李静/责任校对:张凤琴

责任印制:彭超/封面设计:苏波

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市首壹印务有限公司 印刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012 年 8 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 8 月第一次印刷 印张:14 3/4 插页:2

字数:300 000

定价:50.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

图像空间分辨率是成像系统对输出图像细节分辨能力的一种度量,高空间分辨率意味着图像内的像素密度高,能够提供更多的地物细节信息。因此,在很多数字图像的应用中,人们总是期望获得高分辨率的图像。提高图像的空间分辨率,一般是通过改进硬件设备如增加传感器焦平面内的探测元件数目来实现,但这往往需要付出较为昂贵的经济代价,而且存在技术极限。因此,通过发展图像处理的理论与方法提高图像的空间分辨率,是一个非常重要的技术途径。

图像超分辨率重建是指通过对多幅具有互补信息的低分辨率图像进行处理,重构出一幅高分辨率图像的技术。图像超分辨率的思想是由 Tsai 和 Huang 于 1984 年首次提出,经过近 30 年的发展,该技术已获得了很大的发展,并在多个领域进行了成功的应用。到目前为止,国内相关的书籍较少。因此,作者对该研究领域的研究进展进行了系统的总结与整理,并介绍了作者近年来的研究成果,希望能够为相关研究人员提供参考。

全书共分为 8 章,前两章主要介绍了图像超分辨率重建的基础知识,包含了技术产生的背景、基于原理与方法、发展与应用现状等。第 3~8 章针对不同的技术问题,详细阐述了作者发展的各种超分辨率重建方法,主要包含超分辨率重建的联合求解方法、空间自适应超分辨率重建方法、正则化参数的自适应求解方法、高光谱图像的超分辨率重建方法、光学变焦序列图像的超分辨率重建方法和多时相遥感图像的超分辨率重建方法。

本书是作者近十年的工作总结,其间获得了多个科研项目的资助,主要项目包括“973”课题“地观测传感网一体化数据融合与同化方法(2011CB707103)”,国家自然科学基金项目“基于多时相遥感影像的超分辨率重建方法(40801182)”、“多时空谱遥感影像序列的一体化融合理论与方法研究(40971220)”、“遥感影像的自适应超分辨率重建技术研究(41071269)”。此外,从课题研究到本书出版,作者得到了很多领导、老师和朋友的鼓励和支持,很多同学也为此做出了努力,在此一并表示诚挚的谢意。

# 目 录

## 前言

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| <b>第 1 章 绪论</b> .....             | <b>1</b>   |
| 1.1 图像超分辨率重建产生的技术背景 .....         | 1          |
| 1.2 图像超分辨率重建的概念、原理与应用 .....       | 3          |
| 1.3 图像超分辨率重建技术的发展 .....           | 12         |
| <b>第 2 章 超分辨率重建的基本方法</b> .....    | <b>19</b>  |
| 2.1 图像超分辨率重建的基本流程 .....           | 19         |
| 2.2 超分辨率重建中的图像配准(运动估计) .....      | 20         |
| 2.3 超分辨率重建中的模糊辨识 .....            | 34         |
| 2.4 超分辨率重建中的重建模型 .....            | 41         |
| 2.5 超分辨率重建常用的数值求解方法 .....         | 49         |
| 2.6 超分辨率重建中的运算方式 .....            | 55         |
| 2.7 重建图像的质量评价 .....               | 57         |
| <b>第 3 章 超分辨率重建的联合求解方法</b> .....  | <b>61</b>  |
| 3.1 现有研究基础 .....                  | 61         |
| 3.2 运动估计场、运动分割场、超分辨率图像的联合求解 ..... | 71         |
| 3.3 配准参数、模糊参数、超分辨率图像的联合求解 .....   | 89         |
| 3.4 总结 .....                      | 100        |
| <b>第 4 章 空间自适应超分辨率重建方法</b> .....  | <b>101</b> |
| 4.1 常用的图像先验模型 .....               | 101        |
| 4.2 基于自适应加权马尔可夫模型的超分辨率重建 .....    | 105        |
| 4.3 区域自适应超分辨率重建 .....             | 120        |
| 4.4 空间信息自适应总变分超分辨率重建 .....        | 126        |
| 4.5 总结 .....                      | 133        |
| <b>第 5 章 正则化参数的自适应求解方法</b> .....  | <b>134</b> |
| 5.1 常用的正则化参数选择方法 .....            | 135        |
| 5.2 U 曲线正则化参数选择方法 .....           | 139        |
| 5.3 实验结果 .....                    | 142        |
| 5.4 总结 .....                      | 146        |

---

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| <b>第 6 章 高光谱图像的超分辨率重建方法 .....</b>    | <b>147</b> |
| 6.1 高光谱图像的特点分析 .....                 | 147        |
| 6.2 常用的高光谱图像分辨率增强方法 .....            | 149        |
| 6.3 高光谱图像超分辨率重建方法 .....              | 151        |
| 6.4 实验结果与分析 .....                    | 159        |
| 6.5 总结 .....                         | 169        |
| <b>第 7 章 光学变焦序列图像的超分辨率重建方法 .....</b> | <b>170</b> |
| 7.1 问题的提出 .....                      | 170        |
| 7.2 观测模型 .....                       | 172        |
| 7.3 图像配准与拼接 .....                    | 175        |
| 7.4 基于总变差模型的重建方法 .....               | 177        |
| 7.5 实验结果与分析 .....                    | 181        |
| 7.6 总结 .....                         | 192        |
| <b>第 8 章 多时相遥感图像的超分辨率重建方法 .....</b>  | <b>193</b> |
| 8.1 遥感观测与超分辨率重建技术的相互促进 .....         | 193        |
| 8.2 遥感图像预处理及图像观测模型 .....             | 196        |
| 8.3 超分辨率重建方法 .....                   | 205        |
| 8.4 实验结果与精度分析 .....                  | 209        |
| 8.5 总结 .....                         | 217        |
| <b>参考文献 .....</b>                    | <b>219</b> |

# 第1章 绪 论

## 1.1 图像超分辨率重建产生的技术背景

### 1.1.1 分辨率的概念

图像分辨率是成像系统对输出图像细节分辨能力的一种度量，也是图像中目标细微程度的指标，它表示景物信息的详细程度。对“图像细节”的不同解释就会对图像分辨率有不同的理解，对细节不同侧面的应用又可以得到图像不同侧面的度量(曹聚亮，2004)。因此，图像分辨率可以分为不同的种类，如空间分辨率、时间分辨率、光谱分辨率、辐射分辨率等。

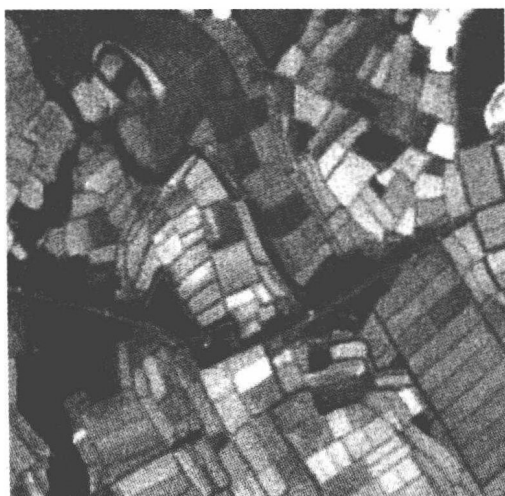
其中，图像的空间分辨率是指传感器所能分辨的最小的目标大小，或指图像中一个像素点所代表的目标实际范围的大小，它是图像清晰程度的度量；时间分辨率在遥感领域一般指卫星对同一地点进行重复观测的时间间隔，针对视频数据又称为帧率，是指每秒钟时间内获取的图像数目；光谱分辨率指传感器在接收目标辐射的波谱时所能分辨的最小波长间隔。间隔越小、分辨率越高；辐射分辨率也称为亮度分辨率，是传感器接收波谱信号时能够分辨的最小辐射度差，在图像中表现为图像的灰度级，所以有时称为灰度级分辨率。

在本书中，我们主要讨论的是图像的空间分辨率，超分辨率重建也是相对图像空间分辨率而言的。因此，在后面各章节中，如果不加说明，分辨率即指的是图像的空间分辨率。

为了加深对图像分辨率概念的理解，我们对两个易于混淆的概念，即分辨率和像素数量(图像尺寸)，进行对比介绍。在数码相机市场上，1000 万像素的相机明显比 500 万像素的相机贵，主要原因就是其获取图像的空间分辨率较高。但是，分辨率和像素数量是否一定成正比关系呢？一般来讲，图像的分辨率越高，单位长度内的像素数目越多，从而表达同一场景的像素数目也就越多；但反过来讲，图像像素数量越多，并不一定表示图像的分辨率越高。两幅图像具有相同的分辨率意味两幅图像包含的有用特征相同(Lin and Shum, 2004)，从这个意义上讲，图像的分辨率不能仅仅通过图像中的像素数目来衡量。同样，在遥感领域习惯用一个像素对应的地面范围大小表达图像空间分辨率的高低，也是不严格的，其仅指的是地面分辨率。

如图 1-1(a)所示的南京一处郊区的 SPOT5 全色图像，图像尺寸为  $256 \times 256$ ；

对该图像以因子 2 进行降采样,得到的图像如图 1-1(b)所示,很明显,降采样后的图像尺寸为 $128 \times 128$ ,分辨图像细节的能力减小了一半;对降采样图像分别以因子 2 进行双线性内插和双三次内插,内插结果分别显示于图 1-1(c)和(d)中,虽然内插图像的尺寸为 $256 \times 256$ ,但与降采样图像相比分辨有用细节特征的能力并未增加,因此其实际的空间分辨率并未提高,仍低于图 1-1(a)。通过以上对比分析可以看出,决定图像分辨率的因素是其对图像细节的分辨能力。欲提高图像的分辨率,须通过处理增加图像中有用的细节特征。



(a) 原 SPOT5 全色图像



(b) 降采样图像



(c) 双线性内插图像



(d) 双三次内插图像

图 1-1 南京郊区的 SPOT5 全色图像

### 1.1.2 图像分辨率提高的硬件限制

图像传感器是图像观测系统中最核心的部件之一,数字相机就是采用图像传感器来形成图像的模拟电流信号,经模拟-数码转换处理后再进行记录形成图像。因此,图像传感器的质量是决定图像质量的关键因素。现今主流的图像传感器为 CCD(charge coupled device)传感器,其他图像传感器如 CMOS(complement metal oxide semiconductor)也日益增多。

常规情况下,人们主要通过改进高精度的 CCD 或 CMOS 传感器等硬件设备来获取高分辨率的图像,即所谓的“硬件途径”。其中最直接的方法就是通过改进传感器制作工艺减小感光单元尺寸,以增加图像的像素数。随着技术的不断改进,感光单元的尺寸越来越小,而随着感光单元的逐渐变小,获取的图像受散粒噪声的影响则越来越大,如果无限制地减小感光单元的大小,所获取的图像像素数量虽然增加了,但噪声的影响限制了图像实际分辨率的提高。CCD 传感器感光单元的最优尺寸为  $40\mu\text{m}^2$ ,目前的传感器技术已经几乎达到了这一水平。另一种提高图像分辨率的“硬件途径”是增加芯片尺寸的大小,但是随着芯片尺寸的增加,电容量也会增加,致使电荷的转换率减慢,进而导致图像中的点光源变模糊(Chaudhuri and Joshi, 2005),因此该方法也有非常大的限制(Park et al., 2003)。

此外,高空间分辨率图像的获取还存在其他多方面的限制。首先,高精度的硬件设备往往价格昂贵,出于经济性方面的考虑,人们也不得不选择较低分辨率的相机或图像数据。其次,传感器设计的尖端技术往往掌握在少数几个发达国家手中,大部分发展中国家包括中国在传感器设计方面的技术还相对落后。例如,在卫星遥感对地观测领域,我国遥感卫星获取的图像在空间分辨率指标上与西方发达国家有较大差距。再次,成像系统的空间分辨率与时间分辨率、光谱分辨率相互制约,为了保证具有较高的时间分辨率或光谱分辨率,往往不得不在空间分辨率指标上进行次优的设计,如为保证在较短时间内获取全月球的覆盖数据,我国“嫦娥一号”CCD 相机和美国“月球勘测轨道器”的宽角相机,其空间分辨率分别只有 120m 和 100m,显然无法进行对月表的细微表达与精细解译。

综合以上原因,通过“硬件途径”提高图像的空间分辨率存在诸多方面的限制,从而催生了本书阐述的内容——超分辨率重建技术。超分辨率重建是从“软件途径”,通过发展理论、算法来提高图像的空间分辨率,已成为图像处理领域最为活跃的研究方向之一。

## 1.2 图像超分辨率重建的概念、原理与应用

不同的学者对图像超分辨率重建的定义不尽相同,较为通用的定义为:图像

超分辨率重建是通过对多幅具有互补信息的低分辨率图像进行处理,重建一幅或多幅高分辨率图像的技术。近年来,一些学者又将超分辨率重建划分为多幅图像超分辨率重建和单幅图像超分辨率重建,但这里所谓的“单幅图像超分辨率重建”并非仅利用了一幅图像的信息,而是以输入的一幅图像为基础,在图像数据库中寻找有用的互补信息,进行信息的融合从而生成超分辨率图像,因此其仍然是利用了多幅图像的信息。而像单幅图像复原、图像内插等处理,虽然在很多情况下能够大大提升图像的清晰度,但并没有体现“超”的含义,因此不应划入超分辨率重建的范畴。下面将从一个常用的图像观测模型出发,阐述图像超分辨率重建的基本原理。

### 1.2.1 图像观测模型

图像观测模型描述理想图像与观测图像之间的关系。在图像超分辨率重建中,观测图像即一系列的低分辨率图像,理想图像即所求的高分辨率图像。给定一定场景的  $P$  幅低分辨率图像,可以认为它们是由一幅高分辨率图像经过一系列的降质过程产生的,降质过程包括几何运动、光学模糊、亚采样以及附加噪声(Park et al., 2003)。如果用矢量  $\mathbf{z}$  表示所求的高分辨率图像,  $\mathbf{g}_k$  表示某一幅低分辨率图像( $k$  为图像编号),一个常用的图像观测模型为(Elad and Feuer, 1997; Park et al., 2003)

$$\mathbf{g}_k = \mathbf{D}_k \mathbf{B}_k \mathbf{M}_k \mathbf{z} + \mathbf{n}_k \quad (1-1)$$

式中,  $\mathbf{M}_k$  为几何运动矩阵;  $\mathbf{B}_k$  为模糊矩阵,  $\mathbf{D}_k$  为亚采样矩阵,  $\mathbf{n}_k$  为附加噪声。整个降质过程可以用图 1-2 来表示,最左边的图像即表示理想高分辨率图像,依次经过旋转运动、模糊、降采样和噪声过程,得到最右边的图像,即为观测图像。

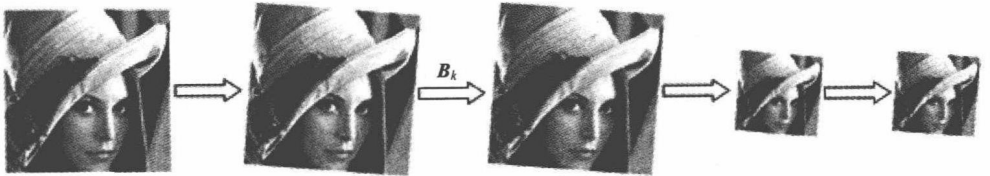


图 1-2 图像降质过程示意图

为表达方便,也可以对观测模型做如下简化:

$$\mathbf{g}_k = \mathbf{W}_k \mathbf{z} + \mathbf{n}_k \quad (1-2)$$

式中,  $\mathbf{W}_k$  为  $\mathbf{M}_k$ 、 $\mathbf{B}_k$  和  $\mathbf{D}_k$  的乘积。

### 1.2.2 图像超分辨率重建的原理

图像的观测模型描述了从理想高分辨率图像到观测图像的正过程，而图像超分辨率重建则是一个逆过程，即利用观测得到的多幅低分辨率图像，重建出理想的高分辨率图像，如图1-3所示。实现超分辨率重建的前提是图像之间必须包含着互补信息，而根据互补信息的不同来源方式，超分辨率重建技术又可以分为不同的类别。

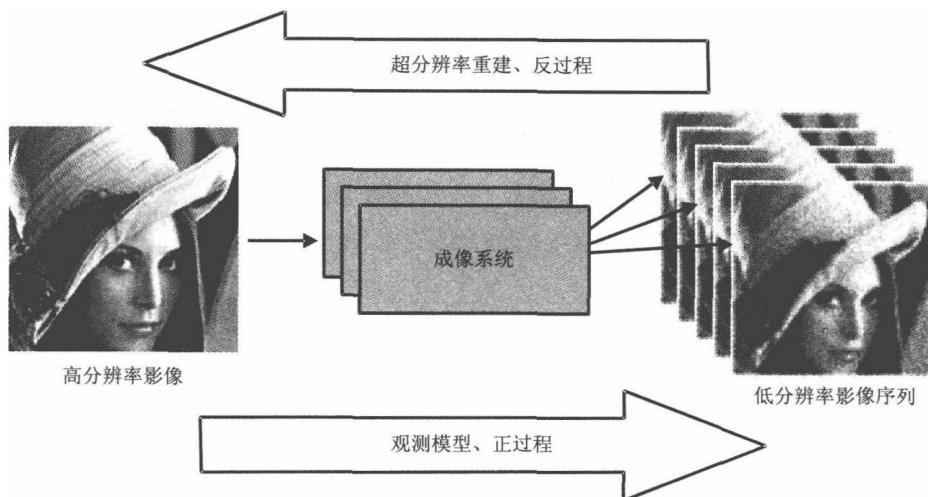


图 1-3 成像正过程与超分辨率重建逆过程

#### 1. 基于运动的超分辨率重建

1984年，Tsai 和 Huang 首先提出利用多幅具有亚像素位移的欠采样图像进行超分辨率重建的方法 (Tsai and Huang, 1984)，基本原理就是把各图像上由于亚像素位移而存在的互补信息融合到同一幅图像中，达到提高分辨率的目的。例如，在图1-4中，箭头左边代表四幅具有亚像素位移的 $3 \times 3$ 的图像，并且，如果把第一幅图像看做参考图像，它们之间的相对位移量分别为 $(0,0)$ ， $(0,0.5)$ ， $(0.5,0)$ ， $(0.5,0.5)$ 。这时，由于图像之间的位移差正好以半个像素为单位，可以很容易地把这四幅图像融合到同一幅图像中，得到箭头右边的 $6 \times 6$ 大小的图像。

上述仅是超分辨率重建的一个最简单的例子，在很多情况下，图像之间的位移量并不一定恰恰以半个像素为单位，而且运动也并不一定为整体平移，也可能为旋转、缩放、扭曲以及局部运动等，但无论如何，只要它们之间存在亚像素的位移，而且位移量为已知或通过运动估计方法可以近似求得，就存在实现超分辨率的可能。如图1-5(a)~(d)所示为成像系统对同一场景的四次不同观测，四幅观测

图像之间具有亚像素位移,因而具有相似而不完全相同的信息,将它们叠加在同一平面上,如图 1-5(e)所示,可以看出明显提高了对该场景的采样密度,但采用并不规则,超分辨率重建的任务就是将不规则采样数据转化为规则采样数据,即图 1-5(f)。

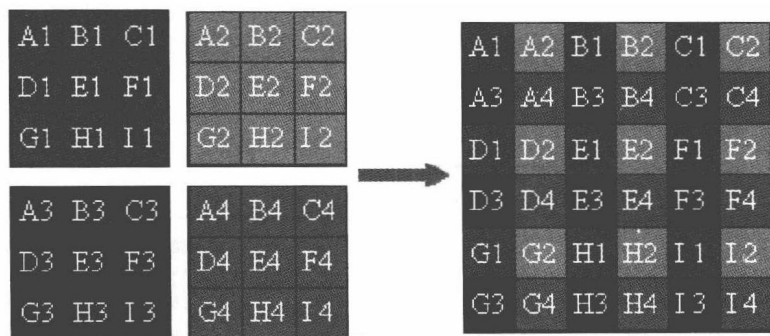


图 1-4 基于运动的超分辨率重建示意图

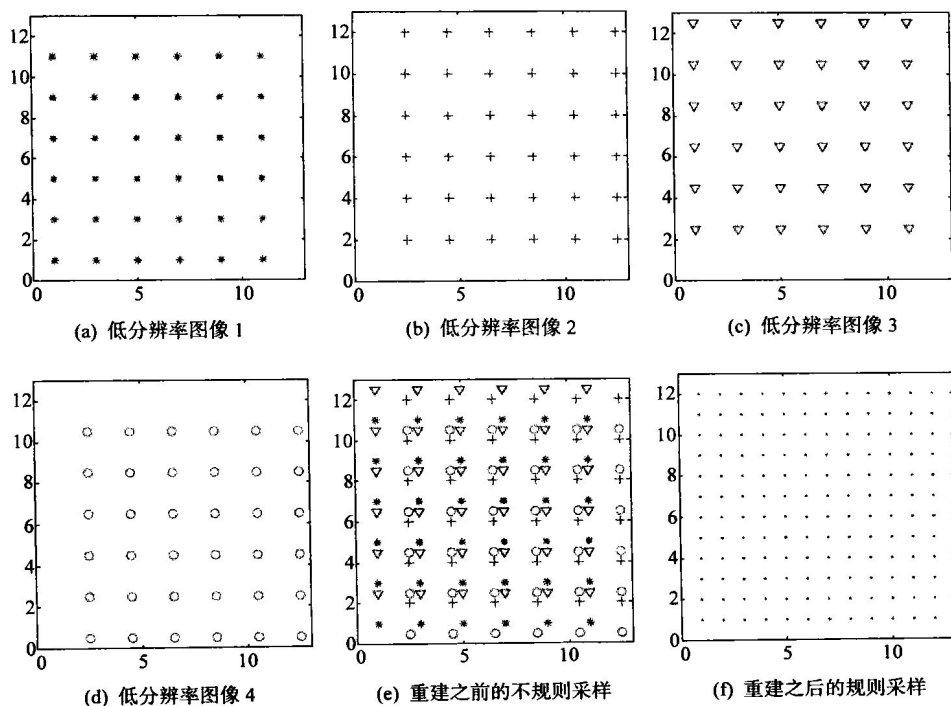


图 1-5 基于运动的超分辨率重建

如果从观测模型式(1-1)看,此类超分辨率重建所需的互补信息来源于式中的运动矩阵  $M_k$ ,我们把此类利用图像之间的亚像素位移来获取互补信息并实现

超分辨率的方法称为基于运动的超分辨率重建方法。由于人们非常容易接触到具有相互运动的图像序列(如视频序列、多时相图像等),再加上基于运动的超分辨率重建方法比较直观而且又比较容易实现,所以在国内外的文献中,绝大多数的超分辨率重建方法属于此类方法,它是当前图像超分辨率重建领域中的研究主流,也是本书重点讲述的内容。

下面给出一个基于运动的超分辨率重建的实例,如图1-6所示。图像中的景物皆为静止,我们用普通商用数码相机进行拍摄,得到序列图像,并把重建目标锁定在车排号及其附近的区域,采用基于最大后验估计的方法进行重建,可以看出,重建后图像比重建前图像的质量有了较大的改善,空间分辨率得到了较大提高,能更清晰地分辨出图像上的数字和字母。

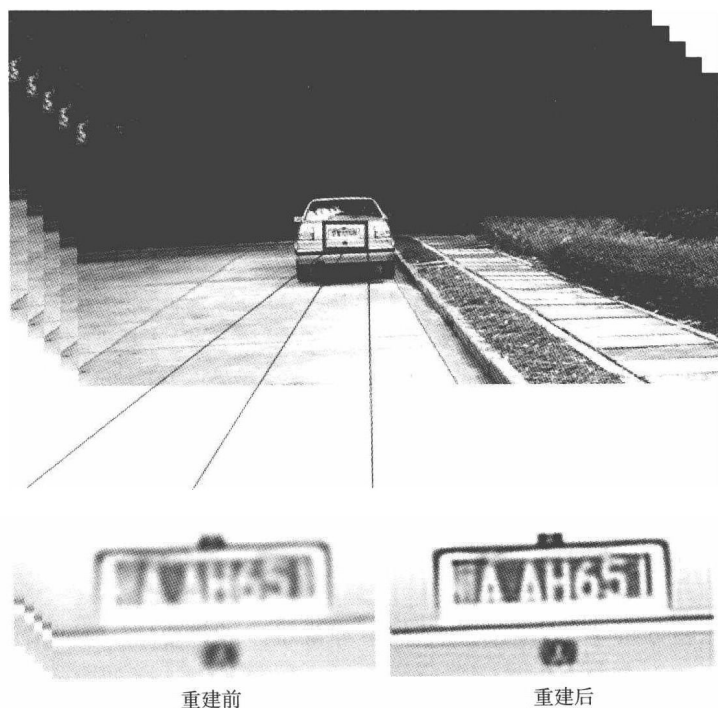


图 1-6 超分辨率重建的实例

## 2. 基于尺度的超分辨率重建

基于尺度的超分辨率重建是对不同观测尺度的宽场景、低分辨率图像与小场景、高分辨率图像进行处理,从而得到一幅同时具备宽场景和高分辨率特征图像的技术。例如,目前大多数的数码相机都具备光学变焦功能,如果在对同一目标进行多次拍摄时所选用的焦距不同,获取的图像就会有不同的分辨率和取景范围,

得到多尺度序列图像。

从运动模型角度看,多尺度图像超分辨率重建也可以归为上面所述的基于运动的方法。但是,此类超分辨率重建方法主要利用的是各图像重叠区域之间的对应关系,使非重叠区域“受益”并得到分辨率的提高(沈焕锋,2007),此时互补信息可以理解为来源于亚采样矩阵  $D_k$ ,因为不同的尺度因子对应着不同的图像分辨率,即代表不同的亚采样矩阵。为了与常规方法加以区别,我们把此类方法称为基于尺度的超分辨率重建。针对近景变焦多尺度图像序列,Josh i、Ng 等分别提出了基于马尔可夫模型(Josh i et al., 2004)和总变差模型(Rajesh et al., 2007)的重建方法,由于此类方法可以求解同时具有宽场景和高分辨率的图像,因此具有一定的实际应用价值。但是,目前的研究方法都假设目标与镜头的距离变化不大,对目标纵深变化较大的场景进行重建的方法还有待于进一步研究。另外,由于遥感观测系统的空间分辨率往往与空间观测尺度成反比,如果对以上方法进行借鉴和发展,进行多尺度遥感图像的超分辨率重建将是一个极具研究价值的新方向。本书将在第7章重点阐述该类方法。

### 3. 基于模糊的超分辨率重建

基于模糊的超分辨率重建源于多通道图像复原,在此类超分辨率重建方法中,假设不同观测图像受不同的模糊函数的影响,即图像之间的互补信息来源于模糊矩阵  $B_k$ 。处理中,通过对模糊函数的估计来获得超分辨率重建所需的互补信息,从而实现图像的超分辨率(Rajagopalan and Kiran, 2003; Chaudhuri and Manjunath, 2005)。虽然此类方法在某些特定情况下具有可行性,但是其限制性非常大。主要困难来源于模糊函数的估计,在很多情况下对其进行精确估计是一项非常艰难的任务。

### 4. 基于学习的超分辨率重建

序列图像超分辨率重建在两种条件下经常难以满足要求,一是图像序列中存在的互补信息并不充分,二是随着分辨率提高倍数的增加序列中的互补信息会显得相对不足。这时,仅靠增加图像的数量不能产生新的高频细节,而图像本身的先验知识就显得非常重要。获得先验知识的方法除了统计方法(概率方法)外,另一个方法就是可以通过学习训练得到(Baker and Kanade, 2002; 孔玲莉等, 2004)。文献(Baker and Kanade, 2002)提出了一种基于学习过程来获得先验知识的方法,首先通过算法去学习识别指定类别,如对象、场景等,将得到的先验知识再用于超分辨率重建,获得了比传统方法更好的结果。利用基于学习的超分辨率重建方法的一个必要条件就是要有一个与重建图像相关的图像训练集,训练集里需要有大量的学习样本,这在很多实际情况下经常难以满足要求。然而,对于一些特定

类别的图像来说训练集的获得并不困难,如汽车的车牌号、人脸数据库等。

近几年,压缩感知(Elad, 2009)理论提出采用稀疏作为先验信息解决欠定问题的全新视角。图像统计研究表明图像块能够由完备字典上一组稀疏线性组合表示。通过稀疏表达,我们训练图像块的稀疏表达形式,并通过这种稀疏表达获取同现先验,不仅能够重建出高质量的图像同构改善了函数运算速度。文献(Mairal et al., 2009)提出了一种全局(non-local)稀疏模型约束图像空间特性。文献(Yang et al., 2010)把压缩感知(compressive sensing)的部分思想引入超分辨率算法中,他们利用线性规划求解 LR 图像块的稀疏表示,并通过与 HR 图像块的线性组合得到高分辨率的图像。随后,许多学者对于基于稀疏的超分辨率重建展开研究,自适应的稀疏表达方法(Dong et al., 2010)将自回归模型与稀疏表达结合在一起,从图像局部和全局两个方面对其进行空间特性约束。最近,文献(Dong et al., 2011)中又结合聚类和稀疏思想,考虑图像重建时噪声等因素的影响,引入稀疏表达噪声(sparse coding noise, SCN)进行双  $l$  约束重建。字典训练作为稀疏模型的重要基础具有一系列学习方法,其由 DCT、小波基构建字典演变到 K-SVC、MOD、PCA 等一系列方法字典构建法。总之,稀疏冗余表达作为一种新的模型,其完备的理论和实际经验提供了图像处理统一的数学计算框架,通过这个框架我们能够得到更有效、更好的重建结果。

### 1.2.3 与其他图像处理技术的关系

在数字图像处理领域,有一些图像处理技术与超分辨率重建技术密切相关,本节主要介绍它们之间的相互关系。

#### 1. 图像去噪

图像去噪技术是消除图像中附带的噪声,通过提高信噪比,改善图像质量。比较简单的方法是通过一些滤波器如均值滤波器、中值滤波器等来完成。另外,去噪处理也可以从模型退化的角度来考虑,常用的观测模型可以表示为(Rudin et al., 1992; Vogel and Oman, 1996; 王正明和谢美华, 2005)

$$\mathbf{g} = \mathbf{z} + \mathbf{n} \quad (1-3)$$

与观测模型式(1-1)对比可以看出,图像去噪是超分辨率重建在没有运动、模糊和亚采样过程的特殊情况。

#### 2. 图像去模糊

图像去模糊或去卷积,主要目的是消除模糊函数对图像的影响,经典的观测模型为(Vogel and Oman, 1998; 汪雪林和赵书斌, 2005; 陈强等, 2006)

$$g = Bz + n \quad (1-4)$$

可见,此模型是超分辨率重建模型式(1-1)在仅考虑模糊函数情况下的(没有运动和亚采样过程)特殊情况。

### 3. 图像复原

一般情况下,基于特定观测模型的图像去噪和图像去模糊处理都可以称为图像复原。由于传统的图像复原只能对模糊和噪声等进行恢复,处理后像素并没有增加,所以不能被看做超分辨率图像重建技术。但实际上,图像复原和超分辨率重建是非常相关的领域,很多超分辨率重建方法都是从单幅图像复原中引入的,所以超分辨率重建可以被看做是第二代图像复原(Park et al., 2003)。

### 4. 图像增强

图像增强技术是一大类基本的图像处理技术,目的是对图像进行加工,突出图像中的某些信息,削弱或除去某些不需要的信息,以得到对具体应用来说视觉效果更好、更有用的图像,或转换成一种更适合人或机器进行分析处理的形式。如直方图均衡、图像的数学变换、图像平滑、图像锐化等技术都可以归属于图像增强。

图像增强和图像复原(包括超分辨率重建)是相交叉的领域,但图像增强主要是一个主观、探索性的过程,为了人的视觉系统的生理接受特点而设计一种改善图像的方法;而图像复原大部分过程是一个客观过程,试图利用退化现象的某种先验知识来重建或复原被退化的图像,即复原或重建技术把退化模型化,并且采用相反的过程进行处理(阮秋琦, 2003)。

### 5. 图像内插(图像放大)

图像内插或图像放大指根据图像自身的像素值进行增加像素的处理,经典的内插方法有最临近(nearest)插值、双线性(bilinear)插值和双三次(bicubic)插值方法。在最近的十年里,也产生了一些保边缘的图像内插方法(Allebach and Wong, 1996; Li and Orchard, 2001; Wang and Ward, 2001; 沈焕锋等, 2005),能够实现在图像内插放大的同时能更好地保护边缘信息。以上方法都是直接利用已知点通过某种线性组合来完成对未知点的内插,另外一类图像内插放大算法是基于图像观测模型的方法(Schultz and Stevenson, 1994; Chambolle, 2004),观测模型可以表达为

$$g = Dz + n \quad (1-5)$$

和超分辨率重建模型式(1-1)相比,该模型少了运动矩阵和模糊矩阵,所以也可以看做是式(1-1)特殊情况。

值得注意的是,一些学者也把单幅图像内插归属于图像超分辨率重建的范畴,但更为广泛的认识是单幅图像内插并不能够恢复出图像降采样过程中恢复的高频信息,因此应该把图像内插和图像超分辨率重建技术区别开来。

## 6. 图像补绘

图像补绘(image inpainting)是指针对图像中丢失或损坏的像元区域,利用未损坏的部分,采取一定的方法进行修补,重新描绘出其原有的图像信息。图像补绘的概念首先被博物馆或艺术品复原工人所使用(Emile-Male, 1976)。数字图像补绘技术是2000年由Bertalmio等首先引入的(Bertalmio et al., 2000),他们采用基于偏微分方程(PDE)的修补算法,通过将待修补区邻域信息沿等光照线方向扩散来填补待修补区,该算法可同时填补多个包含不同结构和背景的区域,图1-7为该文献中列出的一个图像补绘的例子。学者相继提出了多种图像补绘方法,比较典型的方法可参见文献(Chan, 2001; Chan and Shen, 2002; Bertalmio et al., 2003; Cocquerez et al., 2003; Grossauer, 2004; Chan and Shen, 2005; Chan et al., 2005; Elad et al., 2005; Favaro and Grisan, 2006)。

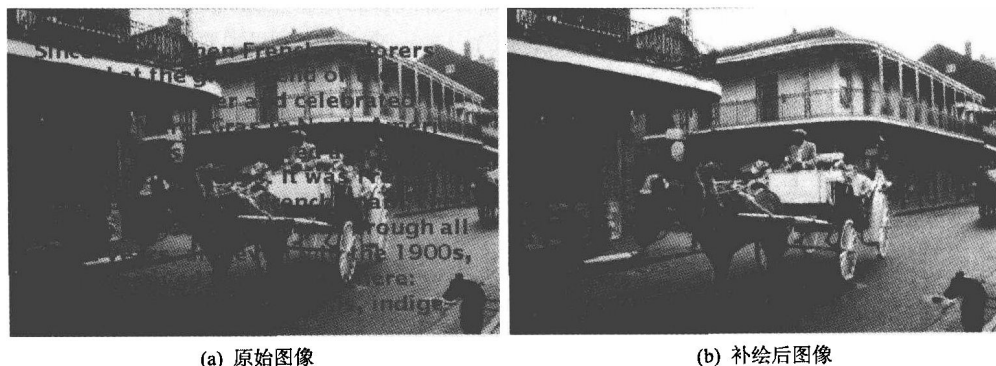


图 1-7 图像补绘示例

在传统的超分辨率重建方法中,很少考虑丢失像元的影响。其实,某些超分辨率重建的应用中也会存在像元丢失或损坏问题,如果对此问题加以考虑,可以实现同时的补绘与超分辨率重建。为了实现此目的,只需在超分辨率的观测模型中加一个矩阵,用以表示哪些像元丢失即可。具体的模型与实验在本书第7章将有所讲述。

## 7. 图像融合

图像融合可以定义为“利用某种算法把两幅或多幅图像的信息进行结合,产生一幅新的图像的技术”(Genderen and Pohl, 1994; Pohl and Genderen, 1998)。从