

彩色遥感影像阴影颜色特性分析*

柳稼航^{1,2}, 杨建峰², 方涛¹

(1 上海交通大学 图像处理与模式识别研究所, 上海 200240)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119)

摘 要: 为了获得具有标识性且易于获取的阴影特征, 总结了彩色图像常见的颜色模式, 分析和研究了遥感影像中阴影的亮度、色调、饱和度以及阴影区 B 通道与 G 通道强度之间的关系等颜色特性. 通过系列实验和分析可知: 1) 彩色遥感影像色调通道中的高亮值对阴影区域的位置具有一定程度的指示作用; 2) 低亮度是遥感影像中阴影的重要特征; 3) 同一幅遥感影像阴影区的饱和度在整体上具有一致性; 4) 同一幅遥感影像上, 阴影区像素 B 通道强度与 G 通道强度的大小关系具有一定程度上的一致性. 利用这四种特征进行自动阴影识别的初步结果, 验证了这四种特征在对遥感影像阴影区的综合标识上是有效的, 可以作为计算机阴影自动检测方法的建模基础.

关键词: 阴影特征; 阴影检测; 阴影识别; 图像分割; 遥感图像

中图分类号: TP753

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)02-441-7

0 引言

由于不同的地物类型具有不同的反射特征, 使得同类地物在遥感影像上呈现出相同的影像特征, 而不同的地物类型则呈现不同的特征. 通常地, 阴影分为两类: 投射阴影和自阴影^[1-5]. 遥感影像上的阴影, 为高大物体的存在提供了直接证据^[5]. 一些研究者们利用阴影来识别目标^[6-9], 比如建筑物的定位、建筑物高度估算、地形起伏及坡度计算等. 但阴影的存在常常也对计算机图像处理产生很大的障碍^[6], 所以阴影有效检测与去除是图像自动处理与分析、机器视觉等领域中常见的问题.

通常地, 阴影检测分为动态场景阴影检测和静态场景阴影检测. 目前为止阴影检测, 依然是一个尚未广泛研究的重要问题^[10], 尤其是对于静态场景的阴影检测^[11]. 相关方法的研究大致可分为两类^[11]: 一类基于模型, 另一类则基于阴影的性质. 第一类方法中, 将有关场景、目标几何结构、光源信息等作为已知条件输入^[11-12], 并由此来计算阴影区域. 由于光源、场景及目标结构信息并不容易得到, 因此这类方法局限性较大^[5]. 第二类方法是以目标图像阴影的颜色、结构等方面的性质为基础的, 因而更具普遍性和实用性.

对于遥感影像的阴影检测方法, 见诸报道的并不多, 且很多方法存在着不足, 缺乏实用性. 一个良

好的阴影检测模型, 必须建立在对阴影特征的有效分析和选择的基础之上, 并同时兼顾实际应用的可行性和方便性. 本文分析了遥感影像阴影在不同颜色空间中的特征, 并利用实验来验证所选取特征在阴影识别中的有效性. 由于遥感影像只有太阳一个光源, 因此本文研究界定于单光源、静态场景、可见光彩色影像.

1 影像颜色模型

颜色的模型是为了按照某种标准利用基色表示颜色, 它一般采用一个三维坐标系统及这个系统中的一个子空间来表示^[13]. 由于不同的应用目的, 产生了不同的颜色模型. 比如为彩色显示或打印处理等与硬件相关的 RGB 模型和 CMY 模型, 与广播电视等视频相关的 YIQ 和 YUV 模型, 与标准基色相关的 XYZ 模型, 以及基于人类视觉特性的 HSI 模型等, 且大部分模型都与目标亮度或 RGB 值具有相关关系^[14]. 一般来说, RGB 模型、YIQ 模型和 HSI 模型是图像处理和计算机视觉领域最常用三种颜色模型.

1.1 RGB 颜色模型

RGB 颜色模型是建立在笛卡尔坐标系和三基色红、绿、蓝基础上的颜色模型, 坐标系三轴分别代表红色、绿色和蓝色, 空间上的任意一点都是红、绿、蓝三色中的一个组合. 为了简化和方便计算, 通常地将红、绿、蓝三色归一化到 $[0, 1]$ 的标准范围, 从而使得所有的颜色都包含在以坐标原点 $(0, 0, 0)$ 为起点的单位立方体内. 对于图像处理而言, RGB 模型是最为重要、最为常见的颜色模型.

由于 RGB 模型与三基色直接对应, 能很好的反

* 国家 973 重大基础研究发展计划 (2006CB701303) 和中国科学院知识创新工程重要方向项目资助

Tel: 029-88887664 Email: jhliu@opt.ac.cn

收稿日期: 2007-12-25

映白光照射条件下不同目标的光谱性能,因而成为现代数字成像系统和遥感成像系统主要的颜色制式.但是在采用这种颜色模型的影像中,三分量中任意一分量发生变化,都会引起图像颜色性能的改变^[13],有时会给某些图像处理技术带来不便.

1.2 YIQ 颜色模型

YIQ 颜色模型在广电系统中应用最为广泛,为了能有效传输和兼容黑白电视,YIQ 是一个 RGB 的编码^[13].这种颜色系统主要的优势是去掉了亮度(Y分量)与颜色信息(I分量和Q分量)之间的紧密联系,使得亮度与颜色具有独立性,即可以在不改变图像颜色的情况下增减图像的亮度.

1.3 HSI 颜色模型

HSI 模型中 H 通道描述了纯色的颜色属性,饱和度和 S 描述了白光冲淡纯色的程度,亮度 I 描述了光照的强弱程度.这种模型的重要性在于两个方面^[13]:一是去掉了强度成份 I 在图像中与颜色信息的联系,另一个是色调和饱和度成份与人们获得颜色的方式密切相关.由于 HSI 颜色模型的这种特性,目前已经成为彩色图像处理中算法研究的重要工具,在很多成熟的系统中都有应用.

1.4 RGB 模型与 HSI 模型的关系

当把 RGB 模型和 HSI 模型标准化到区间 $[0, 1]$ 后,根据文献^[15]的推导,RGB 模型与 HSI 模型具有的变换关系为

$$\begin{cases} I = (R+G+B)/3 \\ H = \begin{cases} \theta, & \text{if } (G \geq B) \\ 2\pi - \theta, & \text{otherwise} \end{cases} \\ \left(\theta = \arccos \frac{(R-G) + (R-B)}{2 \sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right) \\ S = 1 - \frac{3}{R+G+B} \min(R, G, B) \end{cases} \quad (1)$$

在本文的研究中不存在由 HSI 模型到 RGB 模型的变换,因此 RGB 模型与 HSI 模型之间的逆变换在本文中不作讨论.

2 遥感影像阴影区颜色特性

基于模型的方法由于需要预先知道光源、目标几何性状等信息,而这些信息在实际应用上常常难以获得,因此在应用上具有局限性.基于阴影特征的阴影检测方法,由于是以目标图像自身的特征为有关参量值的来源,不苛求关于光源、场景特性等先验知识,因而在应用上具有更广泛的前景.

2.1 亮度

亮度是目标光照强度的反映.一幅用 RGB 颜色模型表示的图像,其图像的亮度(又称为强度)是由

R, G, B 各通道的值共同决定的.当把 RGB 各通道统一到 $[0, 1]$ 区间,则采用式(1)的计算方式,就可以将图像转化到 HSI 空间中.

室外场景的照度主要取决于两个方面的因素^[1]:一是直射光的照射强度,另一个是散射光的照射强度.遥感成像是一种典型的无穷远点光源成像模式,在遥感影像上的阴影是由于太阳直射光线被挡住而形成的,因而光源(太阳)直射光的照射强度基本为零,阴影区的亮度主要决定于散射光(主要为天空光)的照射强度.图 1^[16]描述了在相同的条件下天空光强度与太阳直射光强度的对比关系,纵坐标为占总辐射量的百分数.

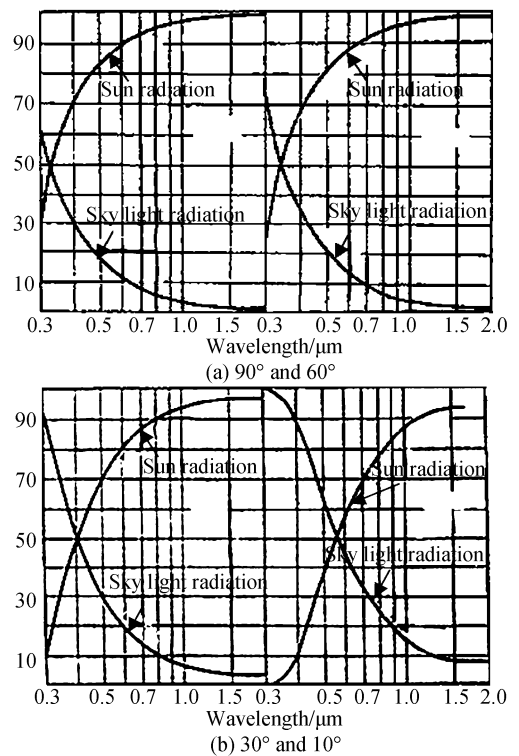


图1 天空光与太阳直射光照强度的比较

Fig. 1 The contrast between the intensity of sky light and that of direct sun light

根据图 1,天空光辐射强度在可见光范围内随着波长的增加而迅速降低,随着太阳高度角的降低而增加.当太阳高度角在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间时,可见光范围内天空光的强度大约占总辐射强度的 $30\% \sim 5\%$,相应的太阳辐射(太阳直射辐射)则占总辐射量的 $70\% \sim 95\%$ 左右.阴影区由于被遮挡,不能接受到太阳辐射,其接受到的辐射强度主要取决于天空光的辐射强度,并因此必然导致阴影区的低辐射强度.这说明在相同的成像环境下,阴影区的亮度要比相同反射条件下的非阴影区小很多.因此,低亮度是阴影区明显且重要的特征之一.

在实际的应用中,有时会遇到在同一幅影像中阴影区的亮度比非阴影区的亮度还高的现象.造成

这种现象的主要原因是地表反射面的反射性质具有很大的不一致性和复杂性,使得不同地方的反射特性具有一定的差异.这一现象表明,低亮度虽然是遥感影像阴影区的重要特征,但这种特征是相对而言的,并不能成为独立判断是阴影区或非阴影区的充分条件,它必须和别的阴影特征一起作为判断标准才能得到可靠的结果.

2.2 色调

色调描述了颜色的纯度,一幅 RGB 空间中的图像可以根据式(1)的公式计算得到相应的色调.一个像素的色调值与其对应的 RGB 值之间的关系为

$$H = \begin{cases} \theta, & \text{if } G \geq B \\ 2\pi - \theta, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\theta = \arccos \frac{(R-G) + (R-B)}{2 \sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}$$

式中的 R 、 G 、 B 分别代表图像中一个像素的 R 分量、 G 分量和 B 分量值,并均已归一化到 $[0, 1]$ 区间. 设 $R-G=\alpha$, $R-B=\beta$, 则 $\alpha, \beta \in [-1, 1]$. 定义函数

$$f(\alpha, \beta) = \frac{\alpha + \beta}{2 \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 - \alpha\beta}} \quad (3)$$

由于 $\arccos x$ 函数是单调的,所以 H 在分段区内也为单调函数,且当 $f(\alpha, \beta)$ 取得最值时, H 将取得最值. 明显地

$$3\alpha^2 + 3\beta^2 - 6\alpha\beta \geq 0 \quad (4)$$

将式(4)两边同时加上 $\alpha^2 + \beta^2 + 2\alpha\beta$, 并整理得

$$4\alpha^2 + 4\beta^2 - 4\alpha\beta \geq \alpha^2 + \beta^2 + 2\alpha\beta = (\alpha + \beta)^2 \quad (5)$$

即得

$$(\alpha + \beta) \leq 2 \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 - \alpha\beta} \quad (6)$$

式(6)中等号当且仅当 $\alpha = \beta$ 时成立,也即当

$(R-G) = (R-B)$ 时, H 取得相应的最值. 图 2 描述了 H 随 α 和 β 变化而变化的趋势. 由此可以看出,当 α 和 β 值趋近时,函数 H 的值迅速增大到最值.

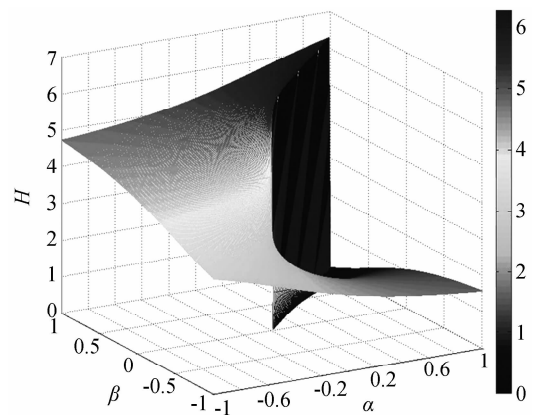


图 2 函数 H 随 α 和 β 的变化关系

Fig. 2 The relationship between function H and α and β

根据推证,可以得到: H 值的大小与 RGB 值的大小无关,只与 B 与 G 值的趋近程度有关. B 值与 G 值越接近相等, H 值就越趋近最大值或最小值.

遥感影像上阴影成像的光能量主要来源于目标对天空散射光的反射能量. 虽然阴影区的反射面在较小的范围内可能不尽相似,但由于天空光的辐射能量很低,使得在阴影区压缩了因反射面不一致而造成的反射差异,从而增强了不同阴影区反射辐射的相似性.

本文将 RGB 制式的 30 余幅不同类型的遥感影像或者影像片段进行 HSI 变换. 用每一幅遥感影像的 H 通道图像与原图进行对比,来研究阴影区 H 通道与非阴影区 H 通道的差异. 图 3(a) 的原图为一彩色航空遥感影像片段,为了方便制版,这里只给出其灰度影像. 原图在色彩方面整体上偏绿色(G

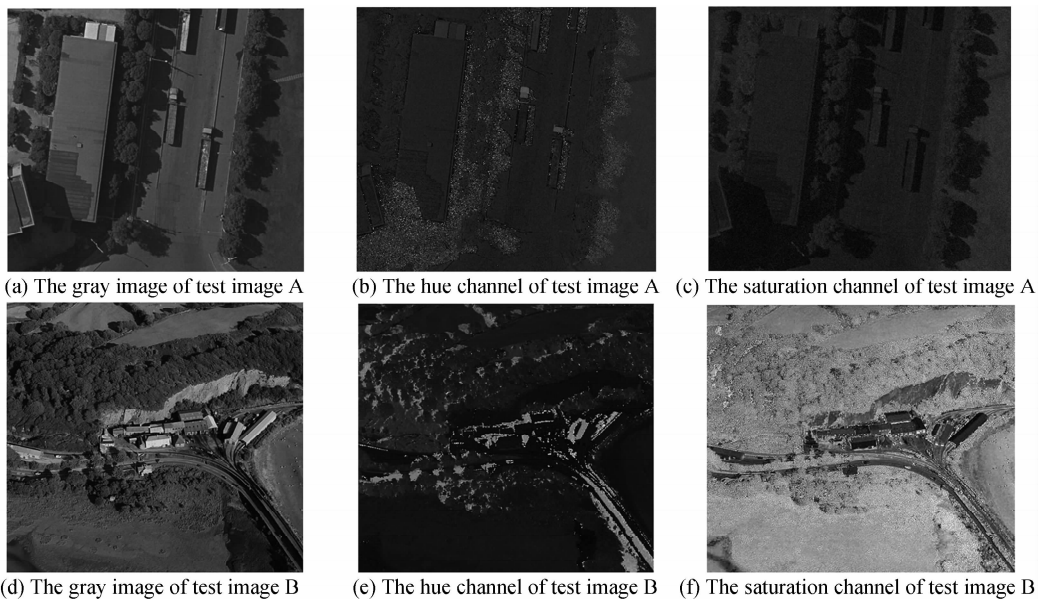


图 3 实验图像 A、B 及其 H 通道和饱和度通道图像

Fig. 3 The test images A&B and their hue channels and saturation channels

分量). 图 3(b)是图 3(a)的原彩色图像利用式(1)的变换得到的色调通道(H)图像. 将图 3(b)与图 3(a)对比可以发现,相对于绝大部分的非阴影区,阴影区的 H 值在整体上表现为较高的值,而非阴影区则表现为较低的值. 图中特别值得注意的是两辆大卡车车头部分的 H 值表现出很高的值,然而这并不是阴影区. 这说明在阴影区在 H 通道中表现为相对较高的值,但并不是所有 H 通道的高值区域都代表阴影区. 图 3(d)原图为某区域的航拍彩色影像,这里也只给出灰度图像. 图 3(e)是图 3(d)原图的 H 通道图像. 将图 3(e)与 3(d)进行对比,可以发现阴影区的 H 值整体上均处于较高的值,而大部分非阴影区的 H 值相对比较低. 在其余的三十余幅图像的处理中,获得了与上面一致的结论.

对阴影区整体上表现出较高的 H 值这种普遍现象,认为主要的原因由于阴影区本身的照度比较低, G 分量和 B 分量的值本身就不可能太大,而这种较低的照度又压缩了处于阴影区的地元在绿光波段和蓝光波段的反射差异,从而使得阴影区像素的色调值 H 具有相对较高的值.

针对于彩色遥感影像的 H 通道,可以得出以下结论:阴影区的色调在整体上基本保持相对一致,相对较高的色调值区域对阴影区的位置具有一定程度的指示作用.

2.3 饱和度

饱和度描述了白光冲淡纯色的程度. 当已知一个像素的 RGB 值时,饱和度 S 可以由式(1)中的饱和度计算公式获得. 设 $m = \min(R, G, B)$, 则另外两个较大的分量则可以分别表示为 $m + \sigma_1$ 和 $m + \sigma_2$, $\sigma_1, \sigma_2 \in [0, 1]$. 由此式(1)中的 S 计算公式就可以表示为

$$S = 1 - 1 / [1 + (\sigma_1 + \sigma_2) / 3m] \quad (7)$$

式(7)说明,当 $(\sigma_1 + \sigma_2)$ 与 m 的比值越大, S 的值就越大. 即当像素 R, G, B 各分量之间的差异越大饱和

度就越大,差异越小饱和度就越小.

饱和度和 S 与 R, G, B 各分量之间的关系比较复杂. 在实验中也发现,同一幅图像(或图像片段)中,除个别阴影区反射性质发生较大的变化外,一般情况下阴影区的饱和度整体上处于一个比较小的范围内,且要么整体上都表现出比较高的值,要么整体上都表现出比较低值,但不意味着在阴影区内的所有像素都一定表现为小值或者大值. 图 3(c)和(f)是实验图像 A 和实验图像 B 的 S 通道图像. 在各自的饱和度通道内,大部分阴影区的饱和度在整体上具有一致性. 在进行的系列实验中也同时发现,在不同的遥感影像间, S 值的相对大小不具有有一致性. 这表明,饱和度属性可以作为判断阴影区的一个条件,但这个条件必须建立在目标图像阴影区自身特点的基础上,且不能独立成为判断阴影区的判据.

2.4 G 值与 B 值的关系

遥感影像中阴影区像素 G 分量值与 B 分量值之间的大小关系,是在对阴影区进行采样研究时偶然发现的一种有趣的现象. 即在反射面类似的情况下,同一幅遥感影像上阴影区 G 分量值与 B 分量值之间的大小关系(G 大于等于 B 或者 G 小于 B)具有一致性. 表 1,是在实验中随机抽取的 6 幅图像的阴影区 G 分量与 B 分量的采样结果. 表中 $I_i (i=1, 2, 3, \dots, 6)$ 是采样图像的代号, G_M, B_M 分别代表一次采样中绿色分量与蓝色分量的平均值(取均值目的是为了消除噪音的影响), $S_j (j=1, 2, 3, \dots, 6)$ 表示第 j 个采样, Num 表示本次采样所包含的像元总数, M 表示本次采样中采样对象的均值. 在采样过程中,使用了圆盘采样、直线采样和矩形采样的方式,没有采用单点采样是为了避免噪音的影响,采样区域尽量涵盖具有不同地表性质的阴影区. 由于篇幅的原因,这里只列出了 6 幅影像各自 6 次采样的采样结果.

表 1 阴影区采样及 G 分量与 B 分量对比表

实验图像	S ₁		S ₂		S ₃		S ₄		S ₅		S ₆		
	Num	M	Num	M	Num	M	Num	M	Num	M	Num	M	
I ₁	G_M	65.03		71.35		58.99		64.59		66.3		44.53	
	B_M	149	57.46	396	61.36	236	50.24	155	55.74	57	57.39	45	39.89
	$G_M - B_M$		7.57		9.99		8.75		8.85		8.91		4.64
I ₂	G_M		44.31		49.39		43.4		39.35		46.2		45.66
	B_M	396	51.58	396	57.91	86	45.99	96	45.73	64	54.5	148	51.74
	$G_M - B_M$		-7.27		-8.52		-2.59		-6.38		-8.3		-6.08
I ₃	G_M		8.63		7.97		10.39		8.05		6.71		8.13
	B_M	73	22.49	148	19.95	148	30.7	82	20.63	28	19.39	46	19.5
	$G_M - B_M$		-13.86		-11.98		20.31		-12.58		-12.68		-11.37

续表 1

I ₁	G_M		50.38		57.72		47.37		48.48		51.89		51.34
	B_M	164	77.79	191	84.98	396	75.46	66	74.03	44	79.05	82	78.4
	G_M-B_M		-27.41		-27.26		-28.09		-25.55		-27.16		-27.06
I ₃	G_M		4.15		4.66		11.97		12.8		12.07		3.12
	B_M	396	14.19	396	11.01	396	28.87	99	28.04	115	28.54	24	6.08
	G_M-B_M		-10.04		-6.35		-16.9		-15.24		-16.47		-2.96
I ₆	G_M		12.23		18.81		17.35		33.58		26.64		19.62
	B_M	111	18.24	58	22.69	31	25.16	396	39.85	148	23.47	148	18.78
	G_M-B_M		-6.01		-3.88		-7.81		-6.27		3.17		0.84

表中采样图像 I₁ 是实验图像 A 的原始航空遥感影像. 地表广泛分布着中、底层建筑物、绿地和道路, 图像色调略偏绿色. 图像 I₂ 是 iKonos 彩色遥感影像, 地表绝大部分被中层建筑物覆盖, 尚有部分裸地. I₃ 是从文献[1]的 PDF 文件中拷贝出来的航空影像, 地表以广场和建筑物覆盖为主, 色调略显偏红色. I₄ 的原始图像的地点为上海某个地方, 地表覆盖以高层房屋建筑为主, 图像的色调偏蓝色. I₅ 是 Landsat 影像(因是从 Yahoo 网站下载的, 尚不知具体的合成波段), 该影像覆盖区为山区, 根据图像的颜色层次可以判断该图像获取时为夏季, 植被很繁茂, 影像上大片阴影区和细碎的阴影区都有分布. I₆ 为实验图像 B, 地表绝大部分被绿色植被覆盖, 有两条公路和少量房屋, 阴影区比较细碎, 没有大片的阴影区.

根据采样结果, I₁ 中的采样, 阴影区 G 分量整体上都略大于 B 分量, 而且这种关系在整幅图像上基本保持一致. I₂、I₃、I₄、I₅ 中的阴影区采样, G 分量整体上小于 B 分量, 这种 G 分量与 B 分量的大小关系在各自图像的其它阴影区也都基本保持一致. 从图像 I₆ 的采样结果可知, 在对部分阴影区的采样, G 分量和 B 分量的大小关系并不一定始终保持一致. 通过分析和实验发现, 导致这种现象的主要原因是个别阴影区的反射面性质发生了很大的变化, 比如由道路变成了绿地.

遥感影像上的颜色特性主要决定于三个方面: 一是入射光的光谱分布, 二是地物的反射特性, 三是成像系统的光谱响应特性. 由文献[1]和[15]可知, 作为阴影区光源的天空光, 在自身光谱特性中, 作为短波的蓝色分量的辐射强度本身就要高于比蓝色波段波长更长的绿色谱段和红色谱段. 较强的入射光强, 必然导致较高的反射强度. 因此, 假定所有阴影区反射特性相似, 成像系统的光谱响应均衡时, 图像上阴影区蓝色分量 B 的强度大于绿色分量 G 的强度是一种必然. 由于遥感成像的特殊性, 可以认为同一幅影像上所有阴影区的受光光谱特性相同. 当成像系统对可见光各波段的光谱响应一致时, 所成图

像的颜色能够真实地反映地表的反射特性. 但当这种响应不一致时, 就可能直接造成波段响应之间的系统性差异. 这种系统性响应差异, 有时能够削弱甚至掩盖不同地表的反射差异和入射光谱强度的差异, 从而使得影像上阴影区颜色的偏色性偏向光谱响应比较强的谱段.

阴影区像素 B 分量与 G 分量之间的大小关系是由三种因素共同作用的. 阴影像素的颜色特性表现为更占主导因素的特征. 相对于阴影区地表反射性质对其颜色的影响而言, 入射光光谱特性及成像系统的光谱响应特性显示出更多的系统性, 也通常是影响阴影区像素 G 分量与 B 分量之间大小关系的主要因素. 将阴影区 G 分量与 B 分量之间的这种关系总结为不严格的系统特性, 即少部分阴影的这种性质可能表现出与阴影区整体的这种性质不一致, 但可用一个较小的偏置将其统一在这种类系统性(即不完备的系统性)之中. 由于地表反射面性质变化的复杂性, 这一特性能否被作为一个特征用于阴影的自动检测中, 需要视具体的图像而定, 多数情况下, 它可能成为一个很好的特征(如 I₁~I₅), 有些情况下也可能不能成为一个判断条件(I₆).

2.5 YIQ 变换

本文在对 YIQ 模型的实验研究中采用的原始图像均为 RGB 颜色模型的彩色图像, 变换方式是文献[13]中给出变换矩阵. 大量的实验结果表明, YIQ 模型在描述遥感影像阴影区的色彩与非阴影区的色彩方面并不具有优势.

3 实验及分析

在本文的所有实验中, 输入条件只是单一的遥感影像, 没有任何诸如成像系统的标定、光源信息、场景信息、目标结构等方面的先验知识. 所采用的特征是在本文第 2 节中分析的四特征, 它们的值域分布来自于对阴影区的少量有效采样(采样数一般小于 10). 所得的几个实验结果, 是随机抽取的几个算例, 所有算例结果未经任何处理.

在实验中, 同时满足四个特征的限制条件才会

被接受为阴影区像素. 图 4(a)采用文中分析的四种特征为判别参量进行自动识别的结果, 其中白色区域为检测出来的阴影区. 将图 4(a)与图 3(a)进行对照可以看出, 利用本文总结的几种特征进行阴影自动识别的结果与阴影人工判读的结果完全一致, 在树冠区域内人眼容易忽略的阴影也被清楚地探测到了. 图 4(a)所示为实验图像 B 的实验结果. 由于在对阴影区进行采样时发现 G 分量与 B 分量之间的大小关系不完全一致, 给 B 分量增加了一个较小的偏置 σ , 使得在整个图像的阴影区内, G 值与 $(B+\sigma)$ 之间的大小关系保持一致. 将图 4(b)和图 3(e)进行对照, 这里由计算机自动识别出来的阴影与原图中的阴影非常一致. 将图 5(a)和(b)对照可以看出, 虽然在阴影区细碎的局部与人工解译略有偏差, 但绝大部分与人眼的识别结果一致. 这说明本文从 HSI 特征空间和 RGB 特征空间中所选择的阴影特征, 用于计算机自动检测彩色遥感影像上的阴影方面是有效的.

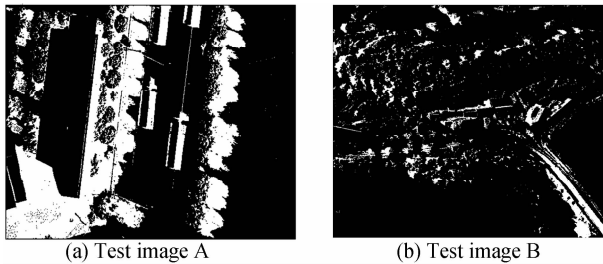


图 4 实验图像 A 和 B 的阴影检测结果

Fig. 4 The detection results of test images A and B

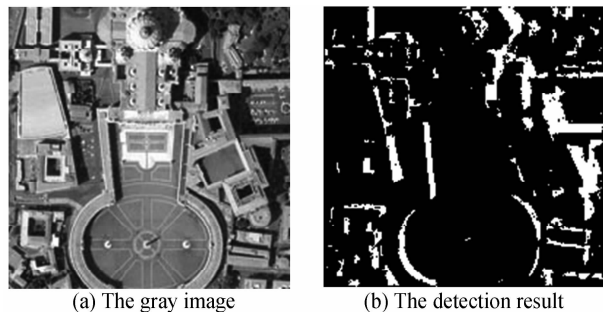


图 5 实验图像 C 的灰度图像及阴影探测结果

Fig. 5 The gray image of test image C and its detection result

4 结论

遥感阴影上的阴影经常会为计算机自动处理带来不便, 静态阴影检测相对于动态阴影检测而言更为困难. 本文的研究目的是为了获得有效的阴影特征, 为进一步自动阴影探测建模奠定基础. 通过大量的实验和理论分析, 发现阴影区的色调 H 、饱和度 S 、亮度 I 对标识阴影区具有明显的优势, G 分量与 B 分量之间的大小关系虽然不具有完备的一致性, 但通过引入较小的偏置可以很好地解决这一问题.

利用获得的这四种特征进行了初步的实验, 获得了与人工解译的阴影一致的结果. 这说明本文获得的这几种特征, 通过适当的联合, 可以有效地标识出可见光彩色遥感影像上的阴影区, 可以作为计算机阴影自动检测方法的建模基础.

由于本文提取的四种阴影特征对阴影的标识是有效的, 后续的工作重点将是如何正确利用这些特征及其特征值的分布, 来建立有效的阴影自动识别算法, 以达到只利用单幅静态场景影像获取场景中阴影的目的.

参考文献

- [1] YAO Jian, ZHANG Z. Hierarchical shadow detection for color aerial images[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2006, **102**(1): 60-69.
- [2] SALVADOR E, CAVALLARO A, EBRAHIMI T. Cast shadow segmentation using invariant color features [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2004, **95**(2): 238-259.
- [3] JIANG Cai-xia, WARD M O. Shadow identification [C]. *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1992: 606-612.
- [4] SALVADOR E, CAVALLARO A, EBRAHIMI T. Shadow identification and classification using invariant color models [C]. *Proceedings of IEEE Signal Processing Society International Conference on Acoustics, Speech and signal Processing (ICASSP-2001)*, Salt Lake City, USA, 2001, **3**: 1545-1548.
- [5] TANG Liang, XIE Wei-xin, HUANG Jian-jun. Detection of shadow in urban color aerial images [J]. *Chinese Journal of Stereology and Image Analysis*, 2003, **8**(3): 129-134.
唐亮, 谢维信, 黄建军. 城市彩色航空影像中的阴影检测 [J]. *中国体视学与图像分析*, 2003, **8**(3): 129-134.
- [6] SHACKELFORD A K, DAVIS C H, WANG Xiang-yun. Automated 2-D Building footprint extraction from high-resolution satellite multispectral imagery [C]. *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'04*, 2004, **3**: 1996-1999.
- [7] VICTOR J D T. A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2006, **44**(6): 1661-1671.
- [8] LI Jin-ye, ZHANG Lei, Wu Bin-fang, et al. Study on extracting building density and floor area ratio based on high resolution image [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2007, **22**(3): 309-313.
李锦业, 张磊, 吴炳方, 等. 基于高分辨率遥感影像的城市建筑密度和容积率提取方法研究 [J]. *遥感技术与应用*, 2007, **22**(3): 309-313.
- [9] JI Shun-ping, YUAN Xiu-xiao. A method for shadow detection and change detection of man-made objects [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2007, **11**(3): 323-329.
季顺平, 袁修孝. 一种基于阴影检测的建筑物变化检测方法 [J]. *遥感学报*, 2007, **11**(3): 323-329.

- [10] BAMARD K, FINLAYSON G. Shadow identification using color ratios [C]. *Proceedings of IS&T/SID Eighth Color Imaging Conference: Color Science, Systems and Applications*, 2000:97-101.
- [11] THRION J P. Realistic 3D simulation of shapes and shadows for image processing [J]. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 1992, **54**(1):82-90.
- [12] BEJANIN M, HUERTAS A, MEDIONI G, *et al.* Model validation for change detection [C]. *Proceedings of IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, Los Alamitos, USA, 1994:160-167.
- [13] RUAN Qiu-qi. Digital image processing [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001:216-222.
阮秋琦. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001: 216-222.
- [14] GEVERS T, SMEULDERS A W M. Color-based object recognition[J]. *Pattern Recognition*, 1999, **32**:453-464.
- [15] SMITH A R. Color gamut transform pairs [J]. *Computer Graphics*, 1978, **12**(3):12-19.
- [16] XUE Jun-ao, LIU Zai-qing, PIAO Da-zhi, *et al.* Theory of radiation measuring[M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 1981:106-111.
薛君敖, 李在清, 朴大植, 等. 光谱辐射测量原理和方法[M]. 北京: 中国计量出版社, 1981:106-111.
- [17] PHONG B T. Illumination for computer generated pictures [J]. *Communications of the ACM*, 1975, **18**(6):311-317.
- [18] LI Zheng-zhou, PENG Su-jing, WANG Yun, *et al.* Gray image segmentation algorithm based on mean shift [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(Sup):286-289.
李正周, 彭素静, 王允, 等. 基于均值偏移的灰度图像分割方法[J]. 光子学报, 2007, **36**(Sup):286-289.
- [19] ZHOU Jun-ni, CAO Jian-zhong, LIU Bo, *et al.* New image segmentation methods based on regionally minimal cost watershed transform[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(1):142-145.
周军妮, 曹剑中, 刘波, 等. 一种基于局部最小代价分水岭变换的图像分割新方法[J]. 光子学报, 2005, **34**(1):142-145.

Color Property Analysis of Remote Sensing Imagery

LIU Jia-hang^{1,2}, YANG Jian-feng¹, FANG Tao²

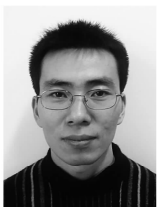
(1 Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

(2 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China)

Received date:2007-12-25

Abstract: In order to acquire some identified shadow features which can be easily obtained, several common color models used in image color space were summarized, and then the intensity, the hue, the saturation, the relation between G magnitude and B magnitude of shadows in color remote sensed images were studied. Based on a series of experiments and theoretical analysis, several conclusions were obtained: 1) higher-level values in hue channel can indicate the locations of shadow in a certain degree; 2) low intensity is an important property of shadows in remote sensed image; 3) the saturation distributions of most shadowed areas are similar in general; 4) to the different shadow areas in a same image, the G components are always higher than the B components or always lower than the B components in most cases, and also this relation keeps consistency in the statistical sense. Experiments indicate that these shadow features are useful for automatic shadow detection in color images and can be used as the basic features for model building.

Key words: Shadow property; Shadow detection; Shadow recognition; Image segment; Remotely sensed image



LIU Jia-hang was born in 1977, and received the B. S. degree in 2000 and the M. S. degree in 2003. Now he is a Ph. D. degree candidate in pattern recognition and intelligence system at Shanghai Jiao Tong University. Since 2003, he has worked at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechines of CAS, and his research interests focus on image processing, pattern recognition and computer vision.