

遥感图象中薄云的去除方法

赵 忠 明

朱 重 光

(西北工业大学计算机系 西安 710072)

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 云覆盖是遥感图象处理中最常遇到的一种情况, 如何有效地去除云的影响, 为后续图象识别与分类奠定基础, 是图象预处理阶段的一个重要任务。本文介绍使用同态滤波进行去云处理方法, 并分别对实际的卫星象片和航空象片进行处理, 说明了方法的有效性和可操作性。

关键词 云覆盖, 滤波, 去云, 同态

1 引 言

在遥感图象处理中, 云覆盖是最常遇到的噪声之一, 它不仅对图象的处理带来许多困难, 而且使后续的图象识别, 分类难以保证精度, 有时甚至无法进行, 所以如何有效地减少或去除云的影响, 在遥感图象的预处理中是一个十分重要的问题。

由于云覆盖的程度不同, 其图象的利用价值也不同, 对于厚云覆盖的区域, 由于图象中几乎不含地面景物的任何信息, 利用价值较低; 而对于薄云覆盖区域, 图象中即包含有云的信息, 亦含有地面景物信息, 所以有利用价值, 解决这类问题, 即如何有效地去除云的影响, 以恢复地面景物的本来面目。

目前大多数去除云的方法都是基于多光谱的, 方法之一是采用一种仅对云较敏感的传感器, 专门用来探测云的信息, 然后从原始图象上减去云图, 得到去除云后的图象; 另一种方法是, 不添加专门的传感器, 但它是利用多光谱图象中的某些波段对云的较强的敏感性来提取云信息的, 实际上这种方法与前者在机理上是一致的。

本文主要论述在不附加任何特殊传感器的情况下, 如何有效地去除薄云的方法。

2 薄云的成象模型

2.1 一般模型

当云层较薄时, 遥感卫星上的扫描仪成象模型如图 1 所示^[1,2]。扫描仪上所接收的图象是由太阳光经云层反射部分及太阳光经地面景物反射后再穿透云层这两部分组成, 即

$$S(x, y) = \varphi[Lr(x, y)] = aLr(x, y)t(x, y) + L(1 - t(x, y)) \quad (1)$$

其中: $S(x, y)$ 为扫描仪接收到的图象, $r(x, y)$ 为地面景物反射率, 代表信号, $t(x, y)$ 为云层的透射率, 代表噪声, L 为太阳光强度, a 为太阳光在大气传输过程中的衰减系数, 并且 $r(x, y)$, $t(x, y)$ 和 a 的数值位于 0 到 1 之间。

收稿日期: 1995 年 11 月 15 日; 收到修改稿日期: 1996 年 3 月 5 日

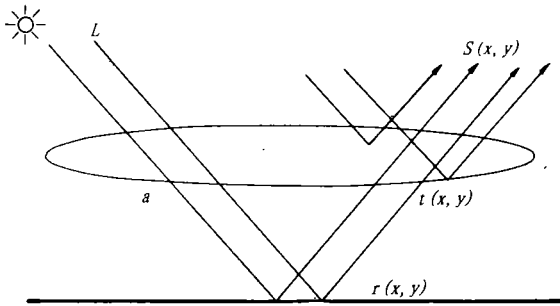


图 1 薄云成象模型

Fig.1 The model of cloud

2.2 模型的简化

上式模型可进行简化, 由于卫星扫描仪上接收到的图象可以看成是由二个因素决定的。一是由于诸如云、大气等的影响, 另一个是由于地面反射特性的不同引起的。若忽略其它因素则前者主要是由云引起的。我们假设地面的反射是完全相同的, 并且是全反射的($r(x, y) = 1$), 则扫描仪上得到的图象就完全反映了云的分布, 若记 $i(x, y)$ 表示这一图象则有

$$S(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y) \quad (2)$$

其中: $r(x, y)$ 表示地面反射率, $S(x, y)$ 表示扫描仪上接收的图象。

注意在(2)式中没有单独考虑云的反射部分 $n(x, y)$, 这是因为在薄云的情况下, 这部分分量较弱可忽略不计, 若这一分量不容忽视时, 由于 $S(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y) + n(x, y)$, 根据云的特点, 一般认为 $n(x, y)$ 占据较低的频带, 这样可用高通滤波的方法进行预处理, 从而减少或去除这一分量的影响。

根据云和景物分布的特点, 一般而言, 云主要分布在低频, 而景物相对主要占据高频, 若去除云的影响, 即去除 $i(x, y)$, 求 $r(x, y)$, 由于 $S(x, y)$ 是由 $i(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 相乘得到的, 所以无法使用一般的滤波器把 $i(x, y)$ 去掉。

3 同态滤波

利用同态滤波进行图象处理是把频率过滤和灰度变换结合起来的一种处理方法^[3], 它是把图象的照明反射模型作为频域处理的基础, 利用压缩亮度范围和增强对比度来改善图象的一种处理技术。

由前面的简化模型可知, 扫描仪上得到的图象 $S(x, y)$ 是由它的照明分量 $i(x, y)$ 和反射分量 $r(x, y)$ 来表示的, 即 $S(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y)$ 。

因为付里叶变换是线性变换, 所以对于上式中具有相乘的两个分量无法分开, 也就是说

$$F[S(x, y)] \neq F[i(x, y)] \cdot F[r(x, y)]$$

但如果首先把(2)式两边取对数就可以把式中的乘性分量变成加性分量, 而后再加

以进一步处理，即：

$$z(x, y) = \ln S(x, y) = \ln i(x, y) + \ln r(x, y) \tag{3}$$

对上式进行付氏变换得：

$$F[z(x, y)] = F[\ln S(x, y)] = F[\ln i(x, y)] + F[\ln r(x, y)]$$

令 $Z(u, v) = F[z(x, y)]$, $I(u, v) = F[\ln i(x, y)]$, $R(u, v) = F[\ln r(x, y)]$

则 $Z(u, v) = I(u, v) + R(u, v)$ (4)

如果用一个传递函数为 $H(u, v)$ 的滤波器来处理 $Z(u, v)$ 则有：

$$p(u, v) = H(u, v) \cdot Z(u, v) = H(u, v) \cdot I(u, v) + H(u, v) \cdot R(u, v) \tag{5}$$

处理后再将(5)式施以付里叶反变换，则

$$P(x, y) = F^{-1}[P(u, v)] = F^{-1}[H(u, v) \cdot I(u, v)] + F^{-1}[H(u, v) \cdot R(u, v)] \tag{6}$$

令 $i'(x, y) = F^{-1}[H(u, v) \cdot I(u, v)]$, $r'(x, y) = F^{-1}[H(u, v) \cdot R(u, v)]$

代入(6)式得

$$p(x, y) = i'(x, y) + r'(x, y) \tag{7}$$

因为 $z(x, y)$ 是 $S(x, y)$ 的对数，为了得到所要求的滤波图象 $g(x, y)$ 还要进行一次相反的运算，即

$$g(x, y) = \exp[p(x, y)] = \exp[i'(x, y)] \cdot \exp[r'(x, y)] \tag{8}$$

令 $i_0(x, y) = \exp[i'(x, y)]$, $r_0(x, y) = \exp[r'(x, y)]$

则 $g(x, y) = i_0(x, y) \cdot r_0(x, y)$ (9)

式中 $i_0(x, y)$ 是处理后的照射分量， $r_0(x, y)$ 是处理后的反射分量。

一幅图象的照射分量通常是慢变化的，而反射分量则变化较为剧烈，这个特征使得有可能把一幅图象取对数后的付里叶变换的低频分量和照射分量联系起来，而把反射分量与高频分量联系起来，这样的近似虽然是粗糙的，但基本上反映了事物的本质。

4 低通滤波器设计

由于云和景物取对数后在频域中占据不同的频带，所以对薄云覆盖的去主要是设计一个高通滤波器，以去除低频分量(云的影响)，但因滤波器的设计以及实现上的一些考虑，我们这里主要说明低通滤波器的设计，当滤波器为理想滤波器时，其脉冲响应将呈振荡特性，用它对图象进行滤波时，便会产生振铃效应，这是因为理想滤波器频率响应具有垂直的锐截止边的缘故。为了减少乃至消除振铃效应，滤波器频率响应应具有光滑的、缓慢变化的特性，应用中我们选用巴特沃思滤波器，具体形式为

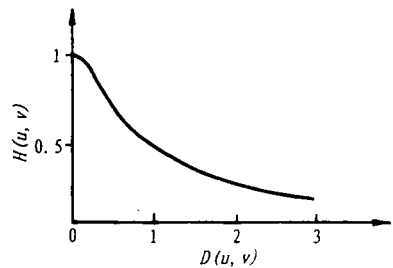


图2 $H(u, v)$ 的曲线
Fig.2 Graphic of $H(u, v)$

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + K[D(u, v) / D_0]^{2n}} \tag{10}$$

其中: D_0 为截止频率, K 的选取是当 $D(u, v) = D_0$ 时, $H(u, v) = \frac{\sqrt{2}}{2}$, 即 $K=0.414$

它的图形为图 2。

它的特点是无振铃, 图象模糊程度轻, 且滤除噪声的效果也不错。

5 图象中薄云的去 除:

5.1 黑白图象的情况

由于图象是单通道的, 处理过程较简单。在一幅图象中, 图象的大部分信息都集中在低频部分, 所以在去除云的过程中不可避免地要去掉一部分有用信息。若使用高通滤波器, 为保证不使有用信息丢失过多, 需要过渡带很窄, 这无疑给滤波器设计带来困难。解决的办法就是先使用低通滤波器将云分量提取出来, 然后从图象中去除该信息, 通过选取较小的截止频率达到最大限度保护图象的目的, 这样对过渡带的要求可以降低。

具体步骤为: 首先对扫描图象 $S(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y)$ 取对数, 得 $\ln s(x, y) = \ln i(x, y) + \ln r(x, y)$, 然后选取滤波器 $H(u, v)$ 为前述的巴特沃思低通滤波器。对上述信号进行滤波, 提取出低频分量 $p(x, y)$, 取指数后得

$$g(x, y) = \exp [p(x, y)] = i_0(x, y) \cdot r_0(x, y) \quad (11)$$

带入模型(2)式得 $r(x, y) = S(x, y) / g(x, y)$

5.2 彩色图象的情况

对于彩色图象可将它分成 R、G、B 3 个通道, 去云的过程是先在每个通道上单独进行(用前述的方法), 然后合成, 需要说明的是实验结果表明云在 R、G、B 3 个通道内的分量并不是完全相同的。一般在 B 通道较强, 而在其它通道较弱, 所以在去除云的过程中, 须分别对待, 否则将引起图象的彩色变化或信息丢失。

6 实验结果及结论

利用所提出的算法对彩色图象的薄云进行了除云处理(黑白图象相同)。 D_0 取为 4, 图版 I 图 3 是三峡地区的卫星遥感影象, 图象中有很 大一部分区域被薄云覆盖。图版 I 图 4 为去除薄云之后的结果, 可见效果还是非常明显的。图版 I 图 5 为另一云覆盖图, 这是一幅航空象片, 图中相当大的一部分区域被云所覆盖, 覆盖区域的景物模糊不清, 图版 I 图 6 是经去除薄云处理后的结果。结果表明, 去云的效果是十分明显的。

实验表明, 文中所给的薄云形成的简化模型是合理的, 事实上, 由于在该模型中 $i(x, y)$ 包括了光路上所有的变化, 所以它将问题简化了, 另外简单滤波器的设计和彩色图象中 R、G、B 3 通道采用不同的截止频率, 使得整个过程易于操作。

需要说明的是, 由于去云是采用滤波的方法实现的, 毫无疑问在去掉云的同时, 也会去掉一部分有用信息。这在图象上表现为对部分区域色彩的改变, 实验也说明存在这一

问题。从图版 I 图 3 和图 4 的对比看, 虽然消除了四川东部长江三峡地区的薄云, 但大巴山地区似乎变得有云了。实际上这是由于滤波后去掉了一些有用信息引起的。减少这一影响的一个方法就是将参数 D_0 取得小一些, 但这样做的结果可能使去云的效果差一些。

该方法特别适合于去除大面积薄云的情况, 因为这时, 低频部分主要是云的分量。

参 考 文 献

- [1] 刘政凯, 瞿建雄. 数字图象恢复与重建: 中国科学技术大学出版社, 1989.
- [2] Z. K. Liu and B. R. Hunt. A New Approach to Removing Cloud Cover from satellite Image. CVIP, 1984, 25(2).
- [3] 赵荣椿, 赵忠明, 崔生. 数字图象处理导论. 西北工业大学出版社, 1995.

作 者 简 历

赵忠明, 男, 1961 年 10 月生。1988 年毕业于西北工业大学计算机系, 获硕士学位。现为西北工业大学计算机系副教授, 在职博士。主要从事计算机图象处理与模式识别研究。参与 3 本专著编写工作。已发表论文 4 篇。

Approach to Removing Cloud Cover from Satellite Imagery

Zhao Zhongming

(Department of Computer Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University)

Zhu Chongguang

(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences)

Abstract Cloud-cover noise often occurs in remote sense image processing. How to remove the effectis of cloud is the important task for image recognition and classification. In this paper we propose a new removing cloud approach, we apply this approach to aerial image and satellite image. The result show this approach is effective.

Key words Cloud-cover, Filter, Removing cloud, Homomorphic