第7卷 第4期 空间科学学报 Vol. 7, No. 4
1987 年 10 月 GHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Oct., 1987

# 星下目标的光谱反射特性分析及云层的自动识别

王 丽 徐根兴 胡文智
(航天工业部二〇七所)

**摘 要**

本文着重讨论了遥感数据的实时分类和星载相机快门的自动关启问题. 首先建立了计算各类目标景象亮度的物理模型，分析了大气等因素对遥感数据的影响及各类自然目标的光谱反射特性，计算了三十四种目标在九种大气条件下的亮度值. 进而提出了识别植被、土壤、水、冰雪和云等五类目标的最佳波段和分类函数及分类流程图，得到了很高的分类精度. 然后又特别讨论了云层和所有非云目标(包括混合目标)的分类问题，并用密度计测量了十张 MSS 卫星图片上的 180 个目标的亮度值. 最后提出了云层开关的实现途径和系统设计的基本思想.

## 一、引 言

随着遥感技术的迅速发展，从卫星上传送到地面接收站的遥感数据急剧增加，造成通信网络严重超载，也给地面数据处理工作造成很大的负担. 但在这庞大的数据群中，由于云层覆盖等因素的影响，只有很少一部分数据能到达用户手中得到应用.

我国国土普查卫星携带的可见光照相机，目前拍摄的卫片约有三分之一被云覆盖而无法利用. 考虑到卫星的发射费用和卫星负荷的代价，这种浪费无疑是巨大的，它甚至会影响到卫片的后期处理工作，给地面图象处理系统增加负担.

如果能设计一种具有特定功能的控制装置(我们称之为云层开关)，它能在卫星上实时识别云以及其它各类自然目标，并根据识别结果控制卫星传感器、信号传输系统或星载照相机的动作，那么就能使传感器或照相机只接收用户感兴趣的目标，而不接收和发送无用的信号，这样既能节约卫星胶片，降低卫星造价，又能缓和通信网络的过载状况，减轻图象处理的工作量.

针对上述问题，本文首先讨论了各类自然目标在卫星上的实时识别和分类问题，然后又特别讨论了云和其它非云目标(及两者混合的目标)的自动分类问题，在大气条件变化较大的范围给出了对绝大多数自然目标均适用的分类函数和分类流程图，并达到了很高的分类精度.

本文于 1987 年 4 月 2 日收到.

## 二、各类自然目标的光谱反射特征提取及分类函数

在可见和近红外波段星下自然目标的景象亮度为 $L$，且[1]

$$L = \frac{1}{\pi}\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_0(\lambda)[T_{\theta_0}(\lambda)T_\theta(\lambda)r(\lambda)\cos\theta_0 + r'(\lambda)]d\lambda. \tag{1}$$

式中：$E_0(\lambda)$ 是在大气层顶部垂直于光线入射方向的太阳光谱照度；$T_{\theta_0}(\lambda)$ 是沿光线入射方向的大气光谱透过率；$T_\theta(\lambda)$ 是沿光线出射方向的大气光谱透过率；$r(\lambda)$ 是自然目标的漫反射率；$\theta_0$ 和 $\theta$ 分别为太阳和卫星的天顶角；$r'(\lambda)$ 是大气反射比.

当 $\lambda_2 - \lambda_1$ 比较小时，可以用各参量在光谱范围内的平均值代入 (1) 式进行求和计算. 此时，(1) 式简化为[1]：

$$L = \frac{1}{\pi}\bar{E}_0(\lambda)[\bar{T}_{\theta_0}(\lambda)\bar{T}_\theta(\lambda)\bar{r}(\lambda)\cos\theta_0 + \bar{r}'(\lambda)](\lambda_2 - \lambda_1). \tag{2}$$

卫星遥测的自然目标可分为植被、土壤、水、冰雪和云五大类. 为了找出在卫星上对这五大类目标进行自动分类的最佳波段和分类方法，我们仔细分析了各类目标在可见和近红外波段的光谱反射特性，可以看出以下几个特征[2-4]：

1. 水的光谱反射率随着波长的增加明显下降，在近红外波段它的反射率几乎为零.

2. 在 0.8—1.2 微米和 1.55—1.75 微米范围内，植被的反射率明显高于可见光波段的反射率.

3. 土壤的光谱反射率随着波长的增大而逐渐增加.

4. 雪的光谱反射率在可见光波段很高，在近红外波段明显下降，在 1.55—1.75 微米波段内几乎等于零.

5. 云的反射率在可见和近红外波段都比较高，而且比较平坦，在 1.55—1.75 微米波段内，云仍具有较大的反射率.

选择最佳波段时，不仅应使各类目标在这些波段内的光谱反射特性差异尽可能大，而且应把波段选在大气窗口内，以减小大气的吸收影响；另外考虑到大气成份对光的散射作用是随着波长的增加而下降的，所以应该尽量选择较长的波段作为最佳波段.

为了克服测量时太阳—目标—传感器之间的相对位置、地面阴影、地形起伏以及季节、大气变化等外界因素对分类结果的影响，采用亮度比值作为各类目标分类的特征值比较适宜.

根据式 (2)，我们计算了五类，三十四种目标在九种大气情况下的景象亮度. 太阳的天顶角范围为 30°—60°，星载传感器位于天顶位置，即 $\theta = 0°$. 为了进一步减小同种目标亮度值的离散性，需对景象亮度作如下修正：

$$\bar{L} = L/\cos\theta_0. \tag{3}$$

根据上述分析和计算结果，选择了 0.6—0.7 微米 (MSS2)，0.8—1.1 微米 (MSS4) 和 1.55—1.75 微米 (TM5) 作为对五大类目标进行自动分类的最佳波段.

图 1、2 是各类目标的修正景象亮度在二维空间中的分布图. 图中坐标均为 $mW/cm^2 \cdot Sr$.

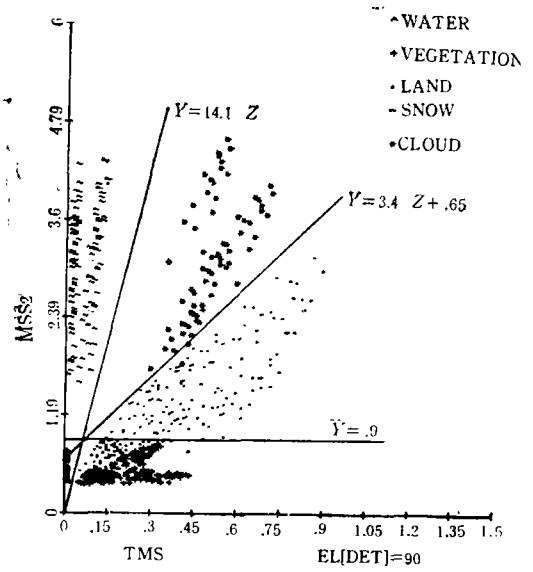


图 1　各类目标的景象亮度分布图

Fig. 1　Radiance distribution for five kinds of targets.

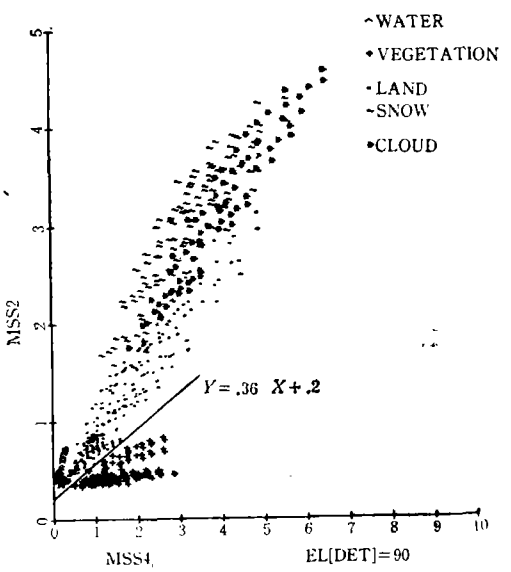


图 2　各类目标的景象亮度分布图

Fig. 2　Radiance disbribution for five kinds of targets

如果用 $\bar{L}_i$ 表示某一给定象元对应传感器第 $i$ 个通道的修正景象亮度值，那么 $n$ 个通道的亮度值组成了一个测量矢量：

$$\bar{\boldsymbol{L}} = \begin{bmatrix} \bar{L}_1 \\ \bar{L}_2 \\ \vdots \\ \bar{L}_n \end{bmatrix}.$$

模式识别中，边界法的分类规则是[2]：只有当 $\bar{\boldsymbol{L}} \in \bar{\boldsymbol{L}}^m$ 时，具有测量矢量 $\bar{\boldsymbol{L}}$ 的目标属于 $m$ 类，其中 $\bar{\boldsymbol{L}}^m$ 是在测量空间中属于 $m$ 类目标的区域.

用系数调整法求出了在 0.6—0.7 微米（对应 Y 坐标）和 0.8—1.1 微米（对应 X 坐标）；0.6—0.7 微米和 1.55—1.75 微米（对应 Z 坐标）组成的两个二维空间中，上述五类目标的区域边界方程及相应的分类函数和分类流程图（如图 3 所示）. 用这些分类函数对上面的

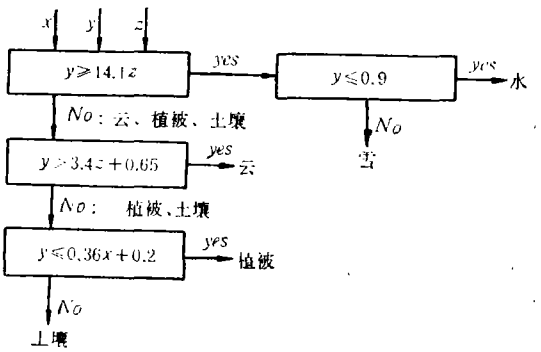


图 3　分类函数和分类流程图

Fig. 3　Classification functions and classification flow diagram

三十四种目标进行分类，其理论计算上的分类正确率可达 99%.

## 三、云层的自动识别

这个问题主要是针对我国国土普查卫星相机拍摄的卫片云量过大的情况提出的. 首先将相机的整个视场分为 11 个分视场，根据上面建立的计算公式，计算了在各个分视场中云和所有非云目标的景象亮度. 图 4 是星载传感器的天顶角为 30° 时，各类目标的修正景象亮度在二维空间中的分布图. 从计算结果可以看出，只需利用 0.6—0.7 微米和 1.55—1.75 微米两个波段就可以将云和其它非云目标区分开.

实际测量中，探测器接收到的景象亮度是两种甚至更多种目标综合作用的结果，即所谓混合目标问题. 可以推出，混合目标的光谱反射率 $r_m(\lambda)$ 等于单一目标光谱反射率按面积比例的加权和.

如果忽略各种目标之间的相互作用，那么，各种混合目标的景象亮度为

$$L = \frac{1}{\pi}\bar{E}_0(\lambda)[\bar{T}_{\theta_0}(\lambda)\bar{T}_{\theta}(\lambda)\bar{r}_m(\lambda)\cos\theta_0 + \bar{r}'(\lambda)](\lambda_2 - \lambda_1). \tag{4}$$

式中 $\bar{r}_m(\lambda)$ 是混合目标的平均反射率.

采用各类目标的典型反射率曲线，计算了在典型大气条件下，在 0.6—0.7 微米和 1.55—1.75 微米两个波段内各类目标两两混合的混合景象亮度. 在传感器的天顶角为 30° 时，混合目标的修正景象亮度分布如图 5 所示.

根据同样的模式识别理论，在各个分视场中云和非云目标(包括混合目标)的分类函

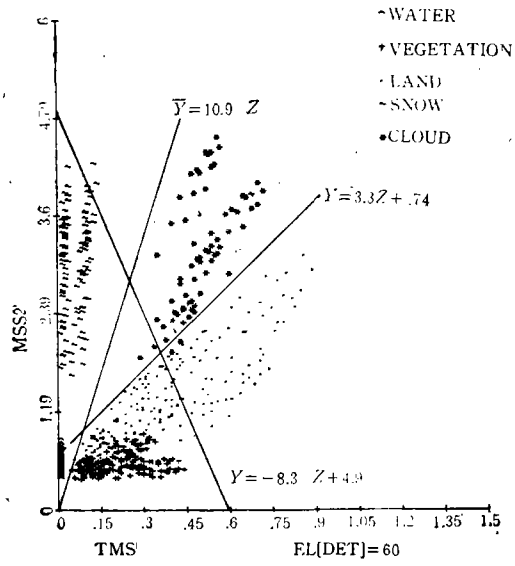


图 4 各类目标的景象亮度分布图

Fig. 4 Radiance distribution for five kinds of tragets

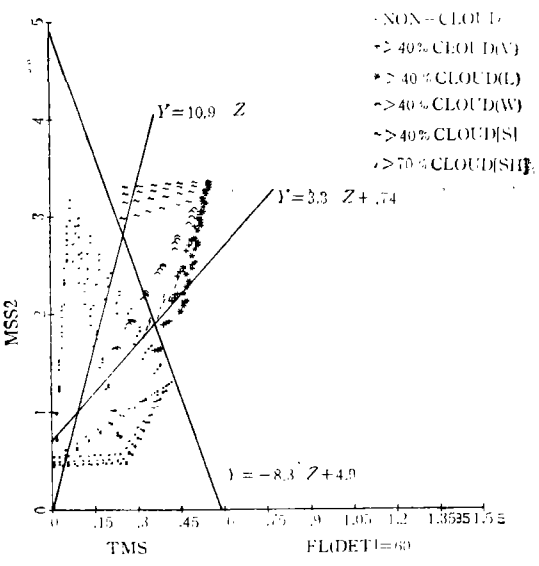


图 5 混合目标的景象亮度分布图

Fig. 5 Radiance distribution for mixed targets

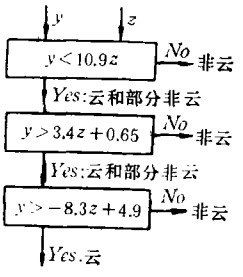


图 6　分类函数和分类流程图
（对应 0°—25° 视场）

Fig. 6　Classification functions and classification flow diagram (field of view: 0°—25°)

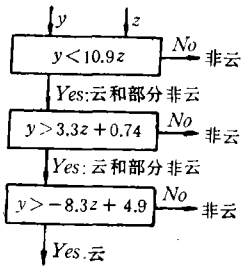


图 7　分类函数和分类流程图
（对应 25°—55° 视场）

Fig. 7　Classification functions and classification flow diagram (field of view: 25°—55°)

数和分类流程图如图 6、图 7 所示，理论计算的分类正确率同样可达99%.

## 四、实　验

为了论证本文建立的物理模型的正确性，用 TD504 型密度计测量了十张 MSS 卫星图片上的 180 个目标的密度，并利用卫片边缘的十五级灰标的密度与景象亮度的关系曲线，对洗象误差进行了校正，得到了 180 个目标的亮度值. 这 180 个目标分别属于植被、土壤、水、雪和云这五大类，它们的状态也各不相同，五套卫片的拍摄时间、拍摄地点、拍摄时的大气条件以及太阳的几何角度各不相同，但是它们的景象亮度在 0.6—0.7 微米和 0.8—1.1 微米波段组成的二维空间中的分布(如图 8 所示)和理论计算的结果表现出较好的一致性.

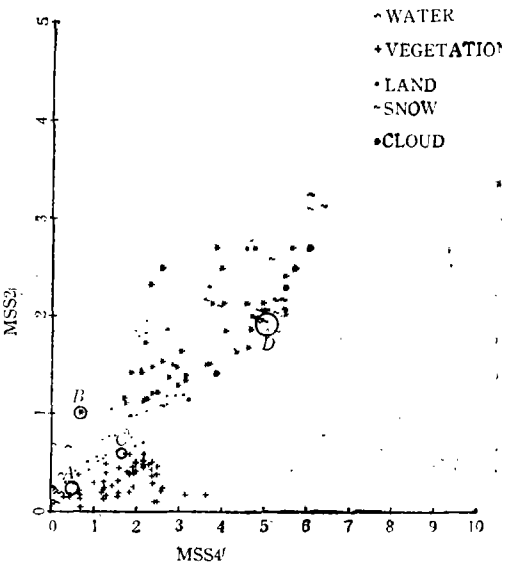


图 8　各类目标的景象亮度分布图

Fig. 8　Radiance distribution for five kinds of targets

## 五、云层开关的实现途径

如图 9 所示，云层开关的基本控制过程是：光学系统接收来自星下目标的景象亮度，经滤光片分为 0.6—0.7 微米和 1.55—1.75 微米两个波段的光谱成份，被相应的探测器接收. 探测器的输出信号经放大处理后进入目标分类器，分类器根据参考模型提供的分类函数确定星下瞬时视场是否被云层覆盖，判断系统则根据各个瞬时视场的识别结果，统计出相机整个视场中的云面积，并根据预先规定的阈值，决

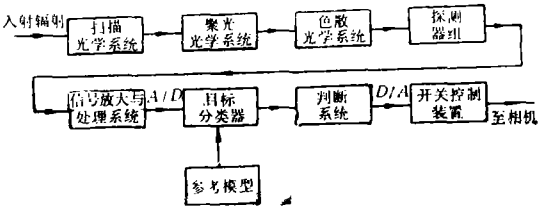


图 9 云层开关系统模型框图

Fig. 9 Block diagram for the system of automatic recognition of cloud

定是否关闭相机快门，最后由开关控制装置根据判断系统发出的信号，开启或关闭星载照相机.

## 参 考 文 献

[1] 阎守邑和童庆禧等译，地球资源技术卫星，科学出版社，1980.

[2] Huck, F. O., R. E. Davis and C. L. Fales, *Advanced Multispectral Remote Sensing, SPIE*, Vol. **345**, p. 73, 1982.

[3] Thomas, H. M., *Advanced Remote Sensing, SPIE* Vol. **363**, p. 73, 1982.

[4] Huck, F. O., R. E. Davis and S. K. Park, *Opt. Eng.*, Vol. **21**, p. 519, 1982.

# The Analysis for Spectral Reflectance Characteristics of Targets under Satellites and the Automatic Recognition of Cloud

Wang Li Xu Gen-xing Hu Wen-zhi

(*Institute* **207**, *Ministry of Astronautics*)

## Abstract

A method for real-time automatic classification of targets and the automatic control of camera shutter are discussed. The physical model of computing the radiance is presented, the influences of atmosphere is considered and the spectral reflectance characteristics of five kinds of targets is analyzed. The radiance of 34 targets at sorts of atmospheric conditions are computed with the model. The best wavebands, the classification functions and classification flow diagrams for five kinds of targets are determined. The problem of distinguishing cloud and non-cloud is studied. Ten Landsat MSS pictures are measured with the TD504 densimeter. The radiance distribution chart is similar to the result of calculation. How to realize the real-time automatic recognition of cloud on the satellite is also discussed.