

用于土地利用分类的计算机 复合分层分类方法*

——河北省南皮县土地利用分类研究

胡德永 王杰生 何晓云 班艺舫

(中国科学院遥感卫星地面站)

1989年6月29日收稿

摘 要

本文介绍了遥感图像的计算机复合分层分类方法：在用马氏距离判决分类基础上，引入了土壤图、地形图和纹理结构信息以及专家知识，对初始分类结果进行了分层判决。提高了分类精度。

关键词 复合分层分类 马氏距离 专家知识

自60年代以来逐步发展的计算机分类方法，基本上是统计判决，所考虑的分类问题，都是在特征空间进行的，即把研究对象的物理和形态特征，依据一定原则加以选择，形成特征空间的一个向量，并以此来代表所考虑的识别对象。然而，由于所研究对象的复杂性，使得使用单一的统计判决方法，获得的分类精度不高。

目视判读者对一张遥感图像的分析，除了分析一个图斑的形状(空间特征)和色调(光谱特征)外，更重要的是把这个图斑所表征的信息置于全幅图像中，分析它在全幅图像中所反映的各类信息的关系，引入了目视判读者所掌握的多种学科知识，如农学、土壤学、地理学、地质学、生态学、气象学等知识和综合推理(逻辑分析)能力，对各个图斑(大小几乎不受限制)进行分析、比较而最后作出判断。这种判断是多层次的，即在推断每一个图斑的过程中，所依据的判据(知识)可能是不同的。当前，代表着遥感图像处理发展方向的，在地理信息系统支持下的专家系统，就是对目视判读机理的模拟。

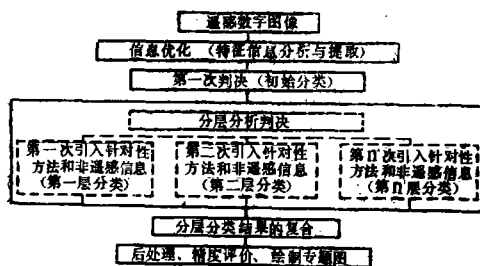


图1 复合分层分类示意图

Fig. 1 Sketch map of combined multi-level classification

在本项工作中，我们使用的复合分层分析方法，沿用了目视判读时对不同图斑的判别使用不同知识的分析思想，即借助专家知识及所掌握的有关资料，改善以统计判决为基本方法的分类精度。图1示出了复合分层分

* 本文所讲述的方法，都是在我站信息分析和应用研究室发展的微机图像处理系统上进行的，全部软件也是该室发展的。参加本研究的还有戴昌达、雷莉萍等。彩色图像由马亚吉、胡亚仙提供。

类的基本思想。

一、研究区信息特征分析

研究区选择在河北省南皮县城关镇,该地区在华北平原具有代表性。使用的 TM 图像成像于 1987 年 5 月 14 日(图版 I 图 2)。依据该地区实际状态及对 TM 图像的目视分析,划分了 8 种土地利用类型,即: 1, 城市用地; 2, 农村居民地; 3, 麦地; 4, 果林; 5, 人工草地; 6, 春播地; 7, 裸地; 8, 坑塘。由于当前农业生产分散经营方式造成的农作物生长状态差异,清晰地反映在高空间分辨力的 TM 图像信息中,因而使同类地物,表现出复杂的光谱特征。由图版 I 图 2 可以看出,5 月中旬,在华北地区,正处小麦的齐穗期,应显示出典型的植被光谱特征。而反映在图像上的麦地信息,却是从鲜红色、粉红色到黑红色(近黑色)。黑红色调为刚浇过水的、土壤湿度较大的麦地。春播地也因作物盖度不大及土壤类型和湿度差异而表现为浅粉色、浅蓝色、深蓝色及蓝黑色。农村居民点是由房屋、场院、村中道路、树木、取土坑(部分村庄内有小坑塘)等组成,其光谱特征是混合型的,无树和少树的村庄,其光谱特征接近春播地,而树木较多的区域,接近于某些麦地、果林的特征。所以,在这一地区的 TM 图像表现的各类地物的光谱特征,类内离散性大而类间又存在相似性,造成了计算机分类的困难。

在计算机分类中,使用统计判决模式进行处理,并非使用的图像的波段越多(即特征空间的维数越高),其分类精度就越高。TM 图像的 7 个波段信息,考虑到了不同物体的光谱特征及大气影响,因此这些波段选择的本身就是一种优化^[1]。但在具体应用中,还应当依据具体研究对象的特征来确定参与分类的波段。

土地利用类型,所表征的是地表资源的信息。不少学者^[2,3]及本室^[4]的研究结果都说明,在 TM 图像的 7 个波段中,1, 3, 4, 5, 7, 波段所反映的地表资源光谱信息最丰富。考虑到 TM 1, 3 波段之间以及 TM 5, 7 波段之间的相关性,在假彩色合成方案中,以 TM 4, 5, 3(或 TM 4, 5, 1) 波段较好。但在使用计算机进行土地利用分类时,是否也是一个好的选择呢?为了解决这一问题,可以用计算各类型训练区在不同 TM 波段组合时的分散度,并以其大小评价各类间的可分性的方法,来确定参与分类的波段。

表 1 TM 七个波段组合的类间分散度矩阵

Table 1 Dispersion Degree Matrix of Classes with 7 TM Bands

	麦地 1	春播地	裸地	无树居民地	有树居民地	草地	果园	麦地 2
麦地 1	0.00	416.20	224.44	21.97	82.08	80.79	100.05	85.83
春播地		0.00	83.00	124.74	906.37	460.93	1611.67	103.79
裸地			0.00	43.68	498.46	254.17	1254.77	71.66
无树居民地				0.00	71.53	28.40	332.98	42.71
有树居民地					0.00	17.99	184.06	156.74
草地						0.00	290.36	156.05
果园							0.00	603.13
麦地 2								0.00

表 2 TM_{3, 4, 5} 波段组合的类间分散度矩阵
Table 2 Dispersion Degree Matrix of Classes with TM_{3, 4, 5}

	麦地 1	春播地	裸地	无树居民地	有树居民地	草地	果园	麦地 2
麦地 1	0.00	361.73	176.76	53.97	15.19	65.72	58.63	38.51
春播地		0.00	50.10	59.84	103.35	722.67	356.19	1153.24
裸地			0.00	45.38	33.78	388.32	187.14	858.61
无树居民地				0.00	32.40	132.06	114.99	289.10
有树居民地					0.00	59.68	21.76	184.58
草地						0.00	10.31	102.93
果园							0.00	140.13
麦地 2								0.00

表 3 TM 六个波段(无热红外)组合的类间分散度矩阵
Table 3 Dispersion Degree Matrix of Classes with TM_{1, 2, 3, 4, 5 and 7}

	麦地 1	春播地	裸地	无树居民地	有树居民地	草地	果园	麦地 2
麦地 1	0.00	386.77	194.16	72.57	21.12	72.68	73.03	43.29
春播地		0.00	56.69	83.31	111.87	751.98	385.77	1256.41
裸地			0.00	48.65	39.05	408.56	223.79	952.14
无树居民地				0.00	40.86	153.28	154.05	360.61
有树居民地					0.00	45.71	27.36	211.59
草地						0.00	13.05	108.83
果园							0.00	152.29
麦地 2								0.00

表 1, 2, 3 分别列出了关于七个、三个和六个 TM 波段的分散度矩阵^D。从这些矩阵可以看到, 在土地利用分类中, 使用七个 TM 波段, 效果较好。

二、南皮土地利用初始分类

南皮土地利用类型的计算机初始分类, 选用了最小距离法, 即以马氏距离 (Mahalanobis) 判别函数进行分类。与最大似然法分类比较, 马氏距离忽略了各类协方差矩阵之间的差异, 使其类内离散度兼容性增大, 较适用于中国农村卫星遥感图像所反映出的类内离散性大的状态, 可以改善分类精度。在选择训练区时, 也必需依据这一图像特征来确定适当数量的训练区, 并对所选择的训练区进行纯化和优化。训练区的纯化和优化过程应用了两种方法。

1. 检验训练区统计数据的标准差及分类中心的分布

训练区各波段的标准差、训练区分类中心的分布以及训练区各像元在分类中心周围的分布, 在统计数据中是非常直观的。训练区选择的合适与否, 可以从分类中心的分布作

1) TM 图像信息特征及在南皮土地资源调查中的试验, 中国科学院遥感卫星地面站信息分析与应用研究室研究报告, 1988 年。

出判断,各类的分类中心愈分散,其分类效果愈好。而根据训练区各像元在分类中心周围的分布,发生混合的,必然是混分像元。调整训练区使分类中心散开,或去掉这些混分像元,可改善分类结果。图 3 为经过调整训练区后所显示的各分类中心的分布及各类训练区像元在分类中心周围的分布,可以看出,各类基本上分开了。从分类结果的统计来看,也是相当好的(表 4)。

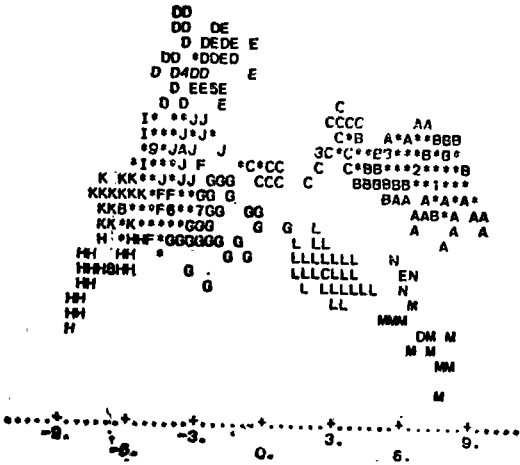


图 3 分类中心及训练区像元在分类中心周围的分布
 (1) 麦地,分类中心 1, 2, 3; 像元 A, B, C,
 (2) 城市,分类中心 4, 5; 像元 D, E,
 (3) 农村居民点,分类中心 6, 7; 像元 F, G,
 (4) 裸地,分类中心 8; 像元 H,
 (5) 春播地,分类中心 9, A, B; 像元 I, J, K,
 (6) 果林,分类中心 C; 像元 L,
 (7) 人工草地,分类中心 D, E; 像元 M, N,
 (8) 坑塘,分类中心 F; 像元 O。

Fig. 3 Centers in Classification and Distribution of training samples Around the seCenters

表 4 用 TM1—7 波段,按训练区分类结果(按训练区像元统计)

Table 4 Classification Result of Trainning Samples with TM1—7 Data

	麦 地	城市用地	农村居民地	裸地(晒场)	春播地	果 林	人工草地	坑 塘
麦地	170							
城市用地		54						
农村居民地		1	86			1		
裸地(晒场)				47				
春播地					242			
果林						47	2	
人工草地						2	41	
坑塘								4
分类精度(%)	100	98.2	100	100	100	94	95.3	100

2. 检验训练区在实际分类中的合理性

在训练区分类中好的结果,应用到研究区的实际分类中时,并不一定在各个类型上都能获得好的结果。由于某些类型类间光谱特征的重叠会造成混分,例如在我们的工作区中,春播地同无树居民点的光谱特征很相近,而有树居民点则与长势不好的麦地、果林、草地相近,因此,应检验每一个训练区在全图分类结果中的贡献。方法为把每一个训练区的分类结果分别赋色显示,并复合到彩色合成图像上,经目视判断或者复合到标准分类图上由计算机直接判断,判断每一个训练区在整体分类中分类正确的像元及错分像元的分布,从而决定对该训练区的调整方向。

图版 I 图 4 表示一个有树农村居

民点训练区在初始分类中的贡献, 黄色表示由该训练区形成的分类中心而分出的一类复合到 TM4, 5, 3 彩色合成图像上的图像。部分长势较差的麦地及麦地边缘的复合像元被分成有树居民点了。经过对这些错分像元信息特征的分析, 可以选择出更合理的训练区位置。

通过上述对训练区的纯化和优化处理与检验, 可以获得一组较为满意的训练区, 经分类处理后获得了一幅初始分类图, 复合上城关镇行政边界后, 便可以统计初始分类结果(表 5)。从表 5 可以看出, 同南皮县提供的详查数据相比, 偏差非常大。分类的偏差有的是果林和人工草地的混分, 但主要是大量的耕地被错分为居民点。图版 1 图 5 显示出了经初始分类后得到的城市用地及农村居民点两类的分布情况, 错分状态得到清晰地显示。主要错误大都出现在道路、沟渠、乡间土路、不同地类的交界处等。这些位置都具有复合像元信息特征。除部分是道路和沟渠外, 大部分是农地被错分为居民点。因此, 居民点面积就显得特别大了。

我们试图从初始分类得到的果林、人工草地和农村居民点三种类型的全部像元中找出它们在光谱特征中的细微差异, 以便从这些细微差异中发现可以改进分类结果的新的训练区, 故对这三种类型进行了无监督再分类: 果林细分为 5 类; 人工草地细分为 3 类; 农村居民点细分为 5 类。其结果, 果林和草地所构成的新的 8 类图像相互混杂, 农村居民

表 5 南皮城关镇初始分类结果

Table 5 Primary Classification Result of Cheng Guan Zhen, Nanpi County

	初始分类值(亩)	详查值(亩)	精度(%)
城市用地	2 419.69	7 612	—
农村居民点	16 856.22		
裸地(晒场)	1 436.46		
麦地	12 667.45	36 310.9	73.8
春播地	14 134.37		
果林	1 019.78	1 330.6	76.7
人工草地	529.99		
坑塘	35.33		

注: (1) TM 图像的分类结果, 包含了道路、沟渠等信息, 分析精度时, 按详查结果中道路、沟渠所占面积的百分数扣除。

(2) 行政边界, 在分类图中, 宽度为 1 个像元, 统计面积时, 按 1/2 像元面积计入界内。

点构成的 5 类图像也相互混杂, 无法区分开。说明这些类型之间的光谱特征差异已经非常小了, 因此, 根据单一时相的 TM 图像, 仅依据光谱信息特征的统计判决模式, 要改善这个地区的分类精度, 将是徒劳的。

三、初始分类结果的分层分析与处理

任何一种分类系统的建立, 都必然地要遵从一定的自然规律。除少数因人的活动而形成的类型(例如土地利用分类中一般居民点和工矿用地的区分)之外, 可以通过人机对话实现专家判断, 引入辅助信息等, 在不同层次上改进分类结果。这种方法, 使得在进行遥

感图像的计算机处理时,具有灵活性,即可以针对初始分类后所得到的分类结果,按每一类的具体情况应用不同的处理方法,引入相应的知识和辅助资料,以求改善分类精度。

在过去的工作中,我们曾用多时相信息进行分层分类^[5],在本研究中,则引用了土壤图、地形图和纹理特征三种信息,分三层再处理了初始分类结果。

第一层处理——土壤图信息的应用。其目的在于改善人工草地同果园的混分。

在华北平原中,本来没有作为非绿化用人工草地。少量人工草地(苜蓿)的出现,是作为对盐化或碱化土地合理利用的改良试验,因此,它们必然地只能出现在盐化或碱化土壤中,果林是不会种植在这类土壤上的。依据这一规律,把土壤图数字化后复合在初始分类图上(仅取果林、草地两种类型),仅需建立起简单地推理关系就可解决两类的混分。经这样处理后,就构成了仅有果林和草地两种类型而其它地类为零信息的第一层分类图。

第二层处理——纹理特征信息的应用。其目的在于改善错分为居民点的信息。图版 I 图 5 显示出的城市和农村居民点的分类结果,表明错分像元主要是春播地、麦地边界和农村土路形成的复合像元以及公路和沟渠形成的复合像元。前已说明,单依光谱特征,这些错分像元无法同真正居民点的信息分开。若从结构信息分析,耕地和居民点的纹理特征显著不同,因此,其纹理能量也不同。因此,根据纹理能量图像,选择特定的阈值对初始分类图像中的耕地和居民点进行判别处理^[6],可以改善居民点的分类精度。

实现这一处理的方法为,选用反映居民点信息特征较好的 TM3 波段用 5×5 “零和”模板(图 6)进行卷积处理,在处理后的图像上取窗口内的信号(窗口大小为 11×11 像元)的方差,作为纹理能量特征投影到窗口中心像元,产生出新的纹理能量特征图像。

$$\begin{bmatrix} -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \\ -2 & -8 & -12 & -8 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 8 & 12 & 8 & 2 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

图 6 5×5 “零和”模板

Fig. 6 5×5 “Zero Sum” Model

表 6 列出了 TM3 图像和由 TM3 产生出的新的纹理能量图像在相同训练区的灰度值的有关数据。可以看出,在 TM3 图像中,城市、农村居民点的灰度值分布范围,同春播地的灰度值分布范围非常接近,彼此间有较大的重合。

但 TM3 经卷积处理后获得的新的纹理能量特征图像,其城市、农村居民点的灰度值分布同春播地灰度值分布的差异明显地拉开了,其可分性获得了显著改善。

依据新的纹理能量图像确定阈值为 90,对初始分类图进行耕地、居民点判别分类,显著改善了初始分类中错分在耕地中的居民点像元。这一结果构成了有城市和农村居民点两类图像以及把错分像元纠正回耕地的第二层分类图。

第三层处理——地形图有关信息的应用。这里,仅使用了道路和沟渠信息。

TM 图像中,道路和沟渠的信息,在不同程度上获得显示,基本上是以复合像元信息表现出来。使用分类方法,不能完整地把这些信息提取出来。另外,反映在 TM 图像中的这些线状体信息,都是被夸大的,不能作为面积量算依据。

把地形图中有关道路和沟渠信息数字化,然后把这些信息复合到分类图上,可以显示出较好的结果。然而问题在于地形图上一般农村土路显示的很少,且地形图成图时间都较早,道路和沟渠的信息是一种易变化信息,TM 图像上反映出的某些线状体信息在地形图上并不一定反映出来。所以,在本研究中,地形图中道路、沟渠信息的引入,仅作为一种

表 6 TM3 波段图像在纹理能量法处理前后有关训练区的光谱数据比较

Table 6 Comparison of TM 3 Spectral Data of Training Samples Before and After Texture Energy Processing

	TM3 原图像			TM3 纹理能量图像		
	最小值	最大值	均值	最小值	最大值	均值
春播地	74	80	75.8	64	113	83.4
土壤湿度大的春播地	59	76	70.3	50	94	75.7
有树农村居民点	54	69	62.2	122	155	132.2
无树农村居民点	65	80	71.8	99	142	116.6
城市	69	78	74	114	156	132.6

分层处理方法来描述,分类图像中,仅反映了地形图上能反映出来的道路、沟渠信息。依据地形图上的道路、沟渠信息数字化后形成的图像,构成了第三层分类图。

把初始分类图作为第一层图像,把分层分类所获得的各层结果依据后复合数据优先的原则,逐层复合(叠加)在第一层图像上,这样便逐次修正了初始分类结果(图版 I 图 7)。

经复合分层处理的分类图,按成图要求进行图斑合并。在本研究中,以 2×2 毫米²作为最小上图图斑面积,相应于 1:5 万 TM 图像上图斑的像元数为 12。分类结果的合并按最大相邻和相似的原则进行,合并后的统计数据见表 7。同表 5 相比,居民点和耕地两大类,得到了显著改善,虽然居民点的精度仍较差。

居民点精度差的主要原因,一是在 5 月中的 TM 图像上(图版 I 图 2),春播地与农村居民点的光谱特征具有相似性,二者之间的边界形成复合像元,使边界模糊,有不少地方用目视判读也很难确定边界位置,在计算机处理时,很容易向外扩展。二是一部分道

表 7 复合分层分类结果精度统计

Table 7 Accuracy Result in Composed Multi-level Classification

	分类结果 (亩)	详查结果 (亩)	精度(%)
居民点	13 287.6	7 612	—
耕地	35 092.85	36 310.9	96.6
果园	1 264.67	1 330.6	95

路、沟渠、地类边界等复合光谱类型像元,同居民点的光谱特征信息相似,经纹理能量判别处理,可改善一些,但不能完全消除。由于居民点的真实面积在总面积中所占比例较小,而分类中,错分像元又大部分表现在居民点上,从而,造成了居民点分类精度差的状态。

结 束 语

在统计判决分类方法基础上进行的计算机复合分层分类,是对目视判读机理的简单模拟。其显著优点是借助了辅助数据所提供的信息,发挥了专家的知识积累和判断能力,使之从单一的统计推断走向了具有智能的推断,简单、灵活、有效,提高了分类精度。

参 考 文 献

- [1] F. J. Thomson et al., *Multispectral Scanner Data Applications Evaluation, Final Report. N25-19802*, 1974.
- [2] Charles Sheffield, *Selecting Band Combination from Multispectral Data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, No. 6, pp.681—687, 1985.
- [3] John R. Jensen, *Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, Chap. 5, pp. 89—91, 1986.
- [4] 戴昌达等, SPOT 和 TM 图像的综合分析与应用效果初探, 第二代资源卫星的应用——中法卫星遥感学术讨论会论文选辑, 测绘出版社, pp.19—27, 1988 年。
- [5] 胡德永等, SPOT 图像及 SPOT 和 TM 复合图像在河北省南皮县土地利用分类中的应用研究, 第二代资源卫星的应用——中法卫星遥感学术讨论会论文选辑, 测绘出版社, pp. 58—67, 1988 年。
- [6] 龚晓等, 遥感图像数据计算机分类及特征选择, 中国地球资源光谱信息及其应用论文集, 能源出版社, pp. 256—267, 1986 年。

Computer Composed Multi-level Classification Method in Land Use Investigation ——Research on Land Use Classification in Nanpi County, Hebei

Hu Deyong, Wang Jiasheng, He Xiaoyun, Ban Yifang

(Remote Sensing Satellite Ground Station, Academia Sinica)

Abstract

As to visual recognition of an image, the pattern (spatial feature) and hue (spectral feature) of the image are used as well as the relations between spots and other kinds of informations. So it leads to analyse an image by using knowledges of many subjects and to recognize different spots with different knowledges.

The ordinary computer classification in digital image processing has low accuracy because it only depends on the statistical decision. The multi-level classification uses several auxiliary data and expert knowledges to make multi-level decisions on the result of the primary classification which only depends on the statistical decision. The final classification image is a composition of decisions of all the levels.

In the land use classification of Nanpi county, Hebei, three kinds of decisions are used: A. Introducing informations of linear objects such as roads and channels on the topographic map to the classification result; B. According to the difference in information on the image between resident area and cultivated land, using texture energy decision to correct some errors, which result from the overlapping of spectral information of resident area and spring sowing land, in the primary classification; C. Avoiding the mixture parts of artificial grassland and orchard by means of the information of soil types, since the artificial grassland is only planted on the saline-alkali land but orchard can never be there.

Composing results of the three level classification mentioned above and the primary classification, we have obtained the final classification image in which the classification accuracy of cultivated land has raised from 73.8% in the primary classification to 96.6% and the orchard from 76.7% to 95%.

Key words Composed multi-level classification Mahalanobis distance Expert Knowledge

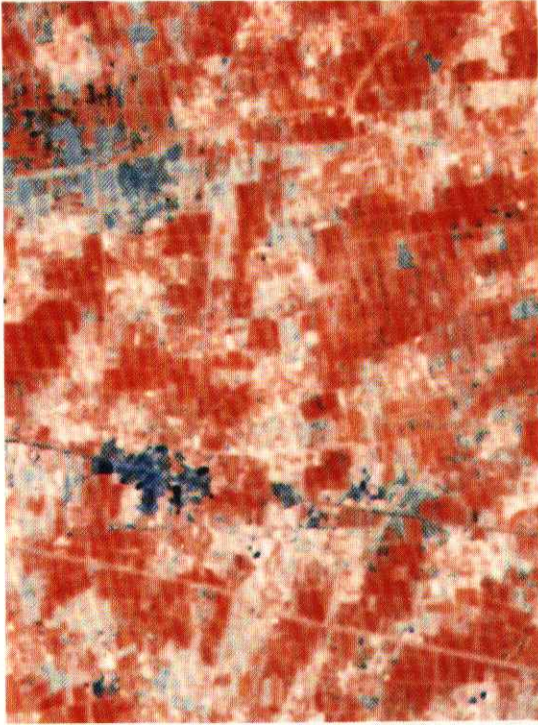


图2 南皮县地区T M4,5, 3 彩色合成图像

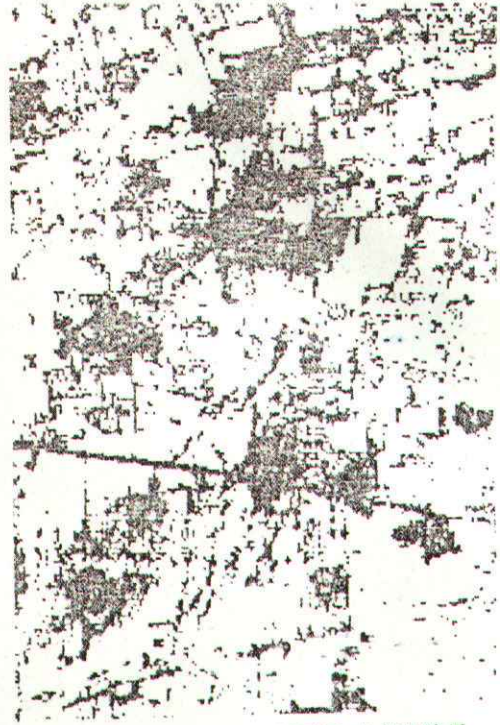


图5 城市用地和农村居民点分类结果

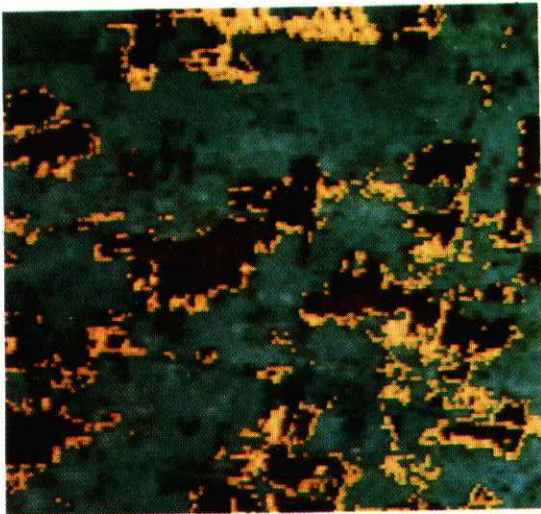


图4 一个居民点训练区在初始分类图中的贡献
(黄色为由该训练区分出的类型)

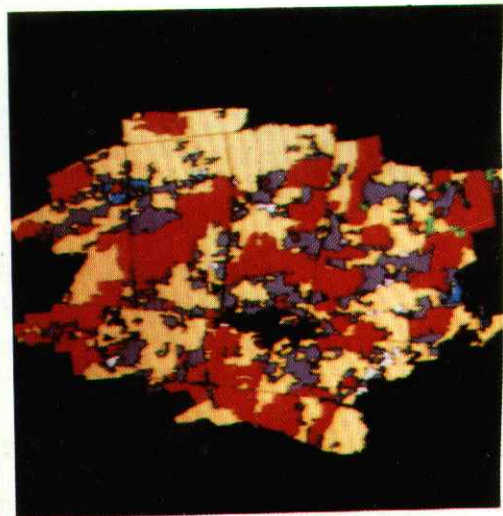


图7 土地利用类型计算机复合分层分类