

空間轉換和取樣方法對於森林 分類準確度影響之研究

鄭祈全 周朝富

摘 要

遙測技術應用於森林分類所面臨的共同問題是分類準確度遠低於分析者所要求的期望值。為求提高分類準確度，本文以空載多譜掃描影像為資料，探討造成遙測影像分類準確度低的原因，並提出空間轉換和不同取樣方法（逢機與系統取樣）以消除或減低造成分類準確度低的原因。同時，檢定所提出的方法是否能改善分類的結果。若能改善，則將之應用於日後遙測資料之電腦分類處理，並提高遙測技術與森林資源資訊系統整合應用的可行性。

試驗結果指出：根據傳統監察方法之區集取樣法，利用最大概似分類式和線性判別分類式所得的分類結果分別為80.7%和97.3%。而本文所提出的空間轉換和不同取樣方法所得的結果分別為：

空間轉換方法：最大概似分類式為81.8%，而線性判別分類式為97.6%。

系統取樣方法：最大概似分類式為90.9%，而線性判別分類式為98.0%。

逢機取樣方法：最大概似分類式為92.2%，而線性判別分類式為96.7%。

由上述分類所得結果可知，在應用監察分類方法時，本文所提出的空間轉換和取樣方法確能改善分類的結果，而改善程度的多寡，以逢機取樣法為最佳，系統取樣法其次，空間轉換為第三，因此，本文建議以後有關森林遙測資料的分類處理時，若使用監察分類法，可採用逢機或系統取樣方法以進行選取具低空間相關的訓練樣本，達到提高分類準確度的目的。

關鍵詞：空間相關、空間轉換、監察分類法、殘差分析法、主成分分析法、最大概似分類式、線性判別分類式。

鄭祈全、周朝富1988，空間轉換和取樣方法對於森林分類準確度影響之研究，林業試驗所研究報告季刊，3(3):161—172。

Spatial Transformation and Sampling Strategy on Computer-Assisted Classification in Forest Thematic Mapping

Chi-Chuan Cheng, Chau-Fu Chou

[Summary]

The effects of spatial transformation and sampling strategy on spectral classification using airborne MSS data were investigated. The objective was to investigate whether spatial transformation and sampling strategy can eliminate the effect of spatial correlation and improve the classification accuracy in order to increase the possibility of integrating remote sensing and geographic information system.

The classification accuracies obtained from the conventional block selection and the proposed spatial transformation and sampling strategy were as follows.

1. Block selection: the maximum likelihood classifier is 80.7% and the linear discriminant classifier is 97.3%.
2. Spatial transformation: the maximum likelihood classifier is 81.8% and the linear discriminant classifier is 97.6%.

1988年5月送審

1988年8月通過

主審委員：鍾旭和
任憶安

3. Systematic sampling strategy: the maximum likelihood classifier is 90.9% and the linear discriminant classifier is 98.0%.
4. Random sampling strategy: the maximum likelihood classifier is 92.2% and the linear discriminant classifier is 96.7%.

For the above classification results, it is known that the proposed spatial transformation and sampling strategy did improve the supervised classification accuracy. And the priority of classification accuracy is random sampling, systematic sampling, and spatial transformation, respectively. Therefore, using random sampling and systematic sampling strategies in the selection of training classes is suggested to increase the accuracy of supervised classification.

Key words: Spatial correlation, spatial transformation, supervised classification, residual analysis, principal component analysis; maximum likelihood classifier, linear discriminant classifier.

Chi-Chuan Cheng, Chau-Fu Chou, 1988. Spatial transformation and sampling strategy on computer-assisted classification in forest thematic mapping. *Taiwan For. Res. Inst. New Series.* 3(3):161-172.

一、緒言

由於應用遙測技術的需求日增，對其分類準確度的要求亦相對地增加。然而，根據前人研究的森林分類結果顯示 (Health, 1974; Heller, 1975; Mead and Meyer, 1977; Krebs et al., 1976; Hoffer and Fleming, 1978)：森林遙測分類所面對的共同問題是分類準確度遠低於分析者所期望的理論值，尤其是當森林組類加以細分時，此現象更為明顯。追究其原因，大多歸因於地被物組類間的光譜變異 (class ambiguity)，地被物的錯誤標示 (mislabelled fields)，或訓練樣本資料含有混淆的像元 (mixed pixels) (Tubbs and Coberly, 1978)。此種低分類準確度的現象導致了多層資訊 (multiple information) 的使用 (Williams, 1976; Hoffer et al., 1975a; 1979a)，各種不同影像分類法則的發展 (Hoffer, 1979b)，以及定義訓練統計值不同技術的發展 (Hoffer et al., 1975b; Fleming and Hoffer, 1977)。

然而，上述前人的研究很少注重於分類誤差原因的探討與鑑定，以及提出消除或減低誤差原因的有關研究。事實上，遙測影像分類的問題係與多變值統計分析的決策理論有關。在多變值分析時，資料須符合常態分佈且各變數間須為獨立的關係。但是在傳統監察分類研究中，資料須為常態分佈的假

設早受重視，而像元間須為獨立關係的假設却一直被忽視。近年來，多方面的研究證實 (Basu and Odell, 1974; Tubbs, 1978-1980; Campbell, 1981; Labovitz, 1986)，遙測資料各像元間具有相關的特性，且該相關特性在空間解像力較佳的空載多譜掃描資料尤其顯著 (Mobasserri et al., 1978)，此一事實，使利用概似比分類式 (Likelihood ratio classifier) 進行監察分類的結果，令人產生質疑。因為遙測資料像元間空間相關的存在違反了獨立相關的假設，並影響到參數值的推定和分類的結果 (Cheng, 1987)。因此，為消除或減低像元間的空間相關特性，本文提出了空間轉換和不同取樣的方法，目的即在於提高森林分類的準確度以及提高遙測技術與森林資源資訊系統整合應用的可行性。

二、材料與方法

(一) 試驗材料

為消除空間相關對森林分類準確度所造成的影響，本文採用解像力較高之空載多譜掃描影像為材料。該資料攝於1984年4月，具有八個波段。影像涵蓋區域位於國立台灣大學實驗林溪頭營林區。樹種包括有竹 (*Phyllostachys nuda*)、台灣杉 (*Taiwania Cryptomerioides*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、和面積較大之柳杉 (*Chamaecyparis taiwanensis*)。

Cryptomeria japonica)等。因本研究著重在空間轉換和不同取樣方法之提出與彼此間的比較,故只選用了竹、柳杉、和台灣杉與柳杉混交三種森林組類作為試驗組類,以簡化試驗過程。

(二)研究方法

研究過程依傳統監察方法和本文所提出的方法(空間轉換、系統取樣,和逢機取樣方法)分兩方面進行。圖1即為本文進行森林分類的整個分析流程圖。

1.方法一:區集取樣法

本方法乃依傳統監察方法之區集取樣法(block selection),選取訓練樣本並計算其訓練統計值,

然後進行分類。在訓練階段時,因該試驗地區樹種與地形較複雜,不易選取面積較大之純訓練樣本,故只選取大小為 30×30 的柳杉、25×20的竹、和 18×18的台灣杉與柳杉混交林為訓練樣區。唯為了使本研究之訓練組類的像元點數能一致,乃以本文所提另一方法(系統取樣法)之訓練樣本點數為主,從原訓練樣區中選取與系統取樣相同數目之像元點作為訓練組類,以供分類之用。同時,為確定所選出之訓練組類是否為常態分佈,本文亦使用多變值常態分佈測驗進行鑑定,有關測驗方法請參考 Cheng (1987)。當訓練組類選取後,在分類階段時又分為兩個子方法。

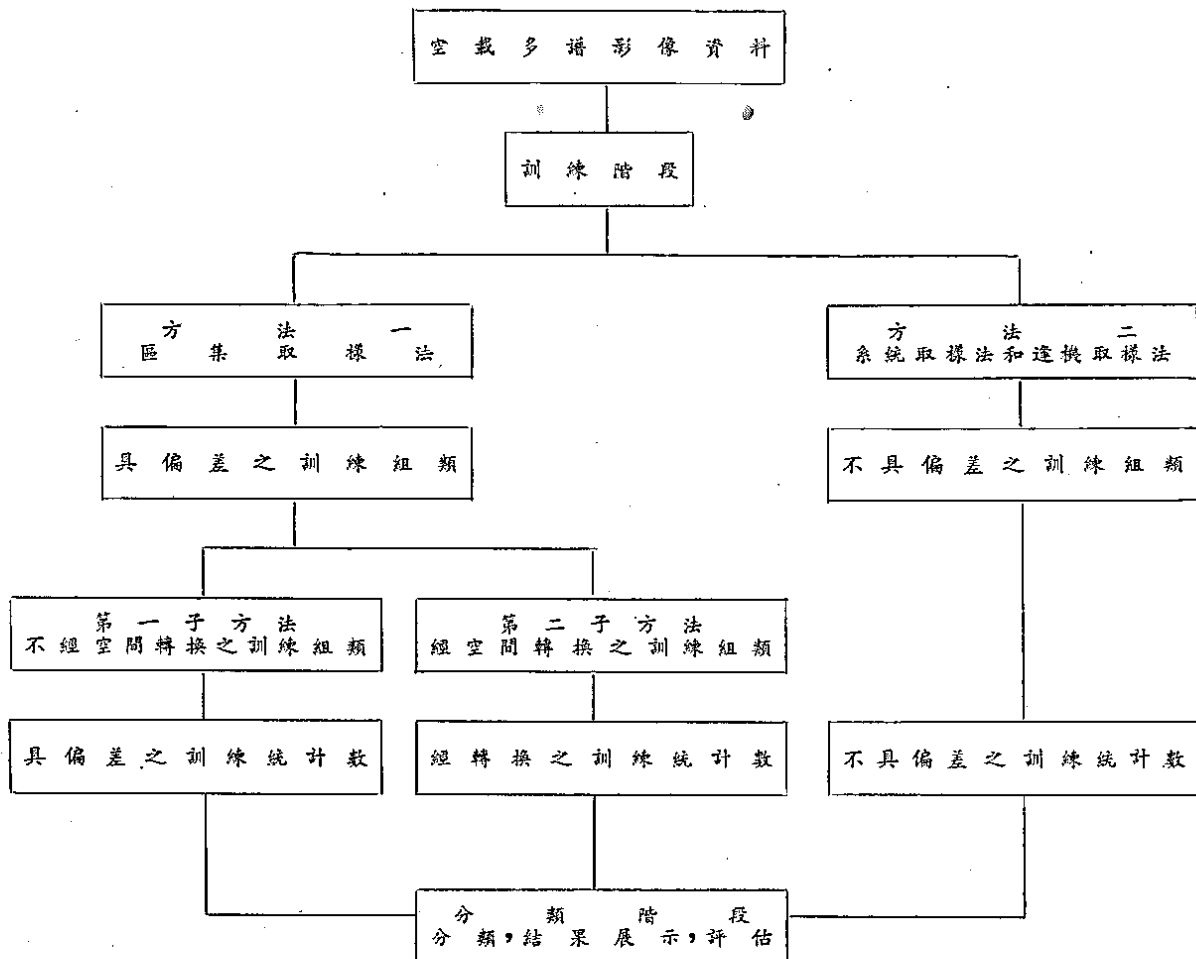


圖1. 應用具偏差,經轉換和不具偏差之訓練統計值在森林光譜分類之分析流程圖。

(1)應用具偏差訓練統計值之監察分類法

由前人研究結果知,傳統區集取樣法所選出之訓練組類,因相鄰像元間具有空間相關,故在推算

這些訓練統計值時具有偏差。而第一子方法即根據這些偏差訓練統計值,利用最大概似分類式(maximum likelihood classifier)和線性判別分

類式 (linear discriminant classifier) 進行分類。分類所得結果作為本文其它方法對照之用，以評估「為什麼傳統的監察方法，在定義訓練樣本統計值時，為最不實用的技術」。

(2)應用轉換訓練統計值之監察分類法

第二子方法係利用殘差分析 (residual analysis) 和主成分分析兩種空間轉換方法，將方法一利用區集取樣所選出之訓練組類作線性空間轉換，以產生偏差較小之轉換訓練統計值。目的是調查利用轉換訓練統計值能否提高分類準確度？若能的話，有多少的改善？

上述兩種空間轉換方法，其轉換過程和方法上的優缺點可參考 (Cheng, 1987)。本子方法係考慮殘差分析法的轉換理論簡單且花費電腦時間較少，故選用該法進行轉換。有關轉換訓練統計值的計算過程，包括下列三個步驟 (Cheng, 1987)：

①空間相關的粹取。

②均數向量為 Q 和共變數矩陣為 S 之不具空間相關訓練組類的產生。

③均數向量為 M 和共變數矩陣為 S 之不具空間相關訓練組類的產生。

經轉換後所得之訓練統計值，如方法一一樣，利用最大概似分類式和線性判別分類式進行分類。

2.方法二：系統取樣法和逢機取樣法

前人研究 (Mobasser et al., 1978) 結果指出，空間相關的特性類似於一遞減指數函數 (decaying exponential function)，亦即像元間的相關性隨著間隔距離的增加而減少，甚至遞減為零相關。根據此遞減現象，方法二係於原訓練樣區內，先計算像元間不同間隔距離之空間相關，然後決定空間相關接近於零之間隔數 (假設為 i)，最後依系統取樣方法每隔 i 選取像元點，並組成訓練組類。此種以系統方式選取的目的，在於消除鄰近像元間的空間相關效應，使產生較不具偏差的訓練統計值。

除系統取樣外，方法二亦藉助電腦，逢機地選取與系統取樣法相同數目的像元點作為訓練組類，目的亦為減少空間相關高之像元點被選取為訓練組類的機會。

上述二種取樣方法所選出之訓練組類，因空間相關的效應小，其訓練統計值的推定應較不具偏差。因此，利用最大概似分類式和線性判別分類式進

行分類所得的結果，可與方法一的結果相比較，達到不同取樣方法能否提高分類準確度的調查目的。

三、試驗結果

傳統監察方法和本文提出之空間轉換、系統取樣和逢機取樣法所得的結果依訓練階段和分類階段分述如下。

(一)訓練階段

表1(a)—1(c)為不同組類之訓練樣區間隔 1 至間隔 5 的空間相關值。本文因使用二維空間模式，故具有水平與垂直兩種相關。由表 1 可知，在顧及訓練樣本數目不能太少的情況下，柳杉、竹、和柳杉與台灣杉混交林較合適之間隔距離分別為 4，4，和 3。依此間隔數，從原訓練樣區中選取的訓練組類即為 8×8 的柳杉， 7×5 的竹子，和 6×6 的混交林。有關空間轉換和不同取樣法的選取結果如圖 2。

表2(a)—2(d)為每一訓練組類之多變值常態分佈測驗結果，由於偏度值 (skewness) 和峰度值 (kurtosis) 均幾近於零，故所選出的森林訓練組類皆可視為常態分佈。

表 3 為常態訓練組類之均數向量和共變數矩陣。由於空間轉換係利用傳統區集法之訓練樣本加以轉換，故二者均數間的差異很小，而系統與逢機取樣法的訓練樣本因不同於傳統區集法，以至於均數間的差異變化較大。同時，比較四種不同方法的共變數矩陣發現，共變數矩陣間具有很大的差異，此由於不同訓練樣本所造成，亦為本文預期的結果。

表 1(a) 柳杉訓練樣本不同間隔 (間隔 1 到 5) 之空間相關計算值

間隔	波 段 相 關	波 段 1		波 段 2		波 段 3		波 段 4		波 段 5		波 段 6		波 段 7		波 段 8	
		水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直
間 隔 1		0.23	0.60	0.31	0.59	0.32	0.59	0.36	0.61	0.26	0.58	0.28	0.59	0.28	0.58	0.65	0.74
間 隔 2		0.08	0.28	0.06	0.29	0.04	0.29	0.09	0.32	-0.06	0.23	-0.07	0.24	-0.03	0.24	0.44	0.53
間 隔 3		0.11	0.25	0.19	0.25	0.21	0.25	0.27	0.28	0.09	0.13	0.11	0.14	0.14	0.15	0.45	0.45
*間 隔 4		0.27	0.13	0.11	0.30	0.06	0.22	0.17	0.27	0.08	0.14	0.09	0.16	0.07	0.19	0.43	0.37
間 隔 5		0.21	0.27	0.26	0.15	0.18	0.22	0.24	0.25	0.05	0.14	0.05	0.07	0.05	0.09	0.47	0.27

*: 代表本文所用之間隔數

表 1(b) 竹子訓練樣本不同間隔 (間隔 1 到 5) 之空間相關計算值

間隔	波 段 相 關	波 段 1		波 段 2		波 段 3		波 段 4		波 段 5		波 段 6		波 段 7		波 段 8	
		水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直
間 隔 1		0.42	0.54	0.80	0.59	0.74	0.56	0.74	0.60	0.78	0.63	0.53	0.41	0.59	0.39	0.79	0.64
間 隔 2		0.28	0.18	0.64	0.32	0.53	0.28	0.56	0.28	0.57	0.34	0.27	0.06	0.39	0.08	0.58	0.37
間 隔 3		0.37	0.01	0.54	0.23	0.39	0.18	0.47	0.16	0.51	0.18	0.09	-0.01	0.17	0.12	0.45	0.26
*間 隔 4		0.29	-0.25	0.40	0.27	0.35	0.20	0.41	0.11	0.33	0.19	0.15	0.01	0.21	0.05	0.28	0.10
間 隔 5		0.16	-0.30	0.47	0.01	0.52	-0.01	0.62	-0.08	0.45	-0.01	0.09	0.20	0.04	-0.09	0.13	-0.18

表 1(c) 柳杉與台灣杉混交林訓練樣本不同間隔 (間隔 1 到 5) 之空間相關計算值

間隔	波 段 相 關	波 段 1		波 段 2		波 段 3		波 段 4		波 段 5		波 段 6		波 段 7		波 段 8	
		水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直
間 隔 1		0.58	0.58	0.71	0.59	0.73	0.61	0.77	0.66	0.59	0.54	0.61	0.56	0.60	0.53	0.66	0.71
間 隔 2		0.45	0.34	0.28	0.25	0.35	0.25	0.38	0.37	0.26	0.19	0.27	0.27	0.24	0.20	0.27	0.39
*間 隔 3		0.12	-0.11	0.05	-0.20	0.11	-0.15	0.13	0.02	0.17	0.19	0.22	0.30	0.23	0.24	-0.13	0.19
間 隔 4		0.13	-0.08	-0.06	-0.41	-0.01	-0.44	0.08	-0.33	0.13	-0.02	0.13	0.11	0.18	0.04	-0.04	0.05
間 隔 5		0.10	0.07	0.02	-0.21	-0.04	-0.27	-0.01	-0.17	0.22	0.29	0.23	0.29	0.22	0.24	-0.22	0.02

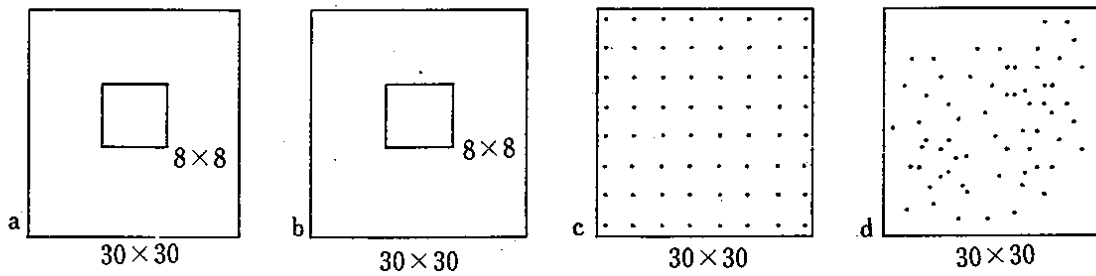


圖 2 空間轉換與不同取樣法之柳杉訓練樣本 (大小為 8×8) 的選取 (a)傳統區集取樣 (b)空間轉換 (c)系統取樣 (d)隨機取樣

表 2(a) 傳統區集取樣法之三種不同組類的多變值常態分佈測驗

主 成 分 轉 換		柳 杉	竹 子	混 交 林
波 段 1	偏 度 值	-1.037	-0.130	-0.284
	峰 度 值	3.688	-1.267	-0.649
波 段 2	偏 度 值	-1.051	-0.391	0.438
	峰 度 值	1.936	-0.569	2.203
波 段 3	偏 度 值	0.352	0.413	-0.117
	峰 度 值	0.540	1.638	-0.519
波 段 4	偏 度 值	0.335	0.146	-0.301
	峰 度 值	0.013	-0.205	0.681
波 段 5	偏 度 值	0.382	-0.400	-0.894
	峰 度 值	1.682	-0.015	1.176
波 段 6	偏 度 值	0.853	-0.240	0.133
	峰 度 值	0.962	0.896	-0.731
波 段 7	偏 度 值	-0.280	-0.130	-0.660
	峰 度 值	-0.666	-0.917	3.709
波 段 8	偏 度 值	0.742	0.472	-0.985
	峰 度 值	1.133	0.089	0.313

表 2(b) 空間轉換法之三種不同組類的多變值常態分佈測驗

主 成 分 轉 換		柳 杉	竹 子	混 交 林
波 段 1	偏 度 值	0.316	0.311	-2.037
	峰 度 值	0.867	1.340	5.324
波 段 2	偏 度 值	0.014	0.056	-0.079
	峰 度 值	0.569	1.306	0.365
波 段 3	偏 度 值	0.380	0.384	-0.801
	峰 度 值	1.388	0.339	2.421
波 段 4	偏 度 值	0.966	-1.321	0.461
	峰 度 值	1.370	4.990	0.849
波 段 5	偏 度 值	-0.605	-0.225	-0.978
	峰 度 值	2.112	0.432	2.548
波 段 6	偏 度 值	-0.269	0.511	0.069
	峰 度 值	2.594	-0.011	-0.049
波 段 7	偏 度 值	-0.606	0.038	-0.027
	峰 度 值	0.077	1.718	0.349
波 段 8	偏 度 值	-0.130	-0.073	0.316
	峰 度 值	0.204	-0.553	0.119

表 2(c) 系統取樣法之三種不同組類的多變值常態分佈測驗

主 成 分 轉 換		柳 杉	竹 子	混 交 林
波 段 1	偏 度 值	-0.721	-0.522	0.989
	峰 度 值	0.846	0.364	3.643
波 段 2	偏 度 值	0.249	1.616	0.508
	峰 度 值	-0.352	3.212	1.890
波 段 3	偏 度 值	0.225	-0.967	1.337
	峰 度 值	2.428	2.639	2.661
波 段 4	偏 度 值	0.211	-1.176	0.053
	峰 度 值	0.353	2.531	1.156
波 段 5	偏 度 值	-0.338	-0.179	0.385
	峰 度 值	-0.234	2.450	0.632
波 段 6	偏 度 值	-0.312	0.559	0.552
	峰 度 值	0.093	0.098	1.473
波 段 7	偏 度 值	-0.077	-0.562	-0.235
	峰 度 值	-0.006	-0.249	-0.215
波 段 8	偏 度 值	-0.150	0.541	-0.468
	峰 度 值	-0.394	1.932	-0.241

表 2(d) 逢機取樣法之三種不同組類的多變值常態分佈測驗

主 成 分 轉 換		柳 杉	竹 子	混 交 林
波 段 1	偏 度 值	-0.273	0.234	0.517
	峰 度 值	1.818	-0.347	1.981
波 段 2	偏 度 值	0.230	0.632	0.658
	峰 度 值	-0.271	0.174	0.222
波 段 3	偏 度 值	-0.126	-0.042	0.082
	峰 度 值	0.196	-0.664	0.892
波 段 4	偏 度 值	-0.080	-1.162	-0.329
	峰 度 值	-0.481	0.612	-0.266
波 段 5	偏 度 值	0.949	0.531	0.516
	峰 度 值	0.421	-0.310	1.059
波 段 6	偏 度 值	0.727	0.428	0.196
	峰 度 值	1.125	0.336	0.113
波 段 7	偏 度 值	-0.055	-0.186	0.094
	峰 度 值	0.719	-0.451	1.889
波 段 8	偏 度 值	0.322	-0.383	0.225
	峰 度 值	0.390	-0.860	0.233

表 3 (a)傳統區集法 (b)空間轉換 (c)系統取樣 (d)逢機取樣之均數向量和共變數矩陣

M1=	67.2344	94.8125	77.8594	62.4375	118.5469	132.5625	128.2500	95.5625
S1=	3.357	-0.479	-0.459	-0.437	-2.422	-2.039	-1.044	-3.515
	-0.479	13.012	11.386	8.702	21.136	25.171	22.841	-3.464
	-0.459	11.386	11.647	9.062	19.253	22.985	21.623	-2.650
	-0.437	8.702	9.062	7.901	15.725	18.623	17.667	-2.377
	-2.432	21.136	19.253	15.725	87.775	103.401	91.734	-7.709
	-2.039	25.171	22.985	18.623	103.401	126.726	118.095	-10.766
	-1.044	22.841	21.623	17.667	91.734	118.095	119.492	-10.000
	-3.515	-3.464	-2.650	-2.377	-7.709	-10.766	-10.000	20.186
M2=	83.6857	126.4571	112.6286	91.8000	221.8286	249.0000	246.2000	122.4857
S2=	5.398	8.177	8.321	7.318	10.709	7.824	10.565	7.039
	8.177	28.844	26.586	21.065	39.492	22.059	34.259	24.360
	8.321	26.586	28.240	26.159	29.581	20.235	29.723	16.186
	7.318	21.065	26.159	35.282	-6.682	12.765	13.129	-10.341
	10.709	39.492	29.581	-6.682	364.851	93.882	181.799	198.114
	7.824	22.059	20.235	12.765	93.882	58.353	77.529	60.706
	10.565	34.259	29.723	13.129	181.799	77.529	127.753	114.018
	7.039	24.360	16.186	-10.341	198.114	60.706	114.018	170.256
M3=	79.6111	118.5833	101.8055	87.7222	160.4444	178.8055	174.2222	122.0278
S3=	23.501	37.748	39.494	42.060	17.263	3.779	11.232	35.782
	37.748	98.707	101.745	110.052	48.876	17.402	30.952	13.440
	39.494	101.745	109.189	116.059	55.346	24.704	38.044	40.948
	42.060	110.052	116.059	129.578	51.184	15.030	33.406	33.122
	17.263	48.876	55.346	51.184	131.339	140.003	116.727	-8.898
	3.779	17.402	24.704	15.030	140.003	182.731	148.901	-8.852
	11.232	30.952	38.044	33.406	116.727	148.901	132.406	8.508
	35.782	13.440	40.948	33.122	-8.898	-8.852	8.508	661.055

(a)

*M1-M3 代表柳杉, 竹子, 和柳杉與台灣杉混交之均數向量。

S1-S3 代表柳杉, 竹子, 和柳杉與台灣杉混交之共變數矩陣。

表 3 (a)傳統區集法 (b)空間轉換 (c)系統取樣 (d)遙機取樣之均數向量和共變數矩陣 (續)

M1=	66.4562	93.6377	76.6883	61.7253	116.3321	129.9048	125.8086	95.3499
S1=	3.692	0.958	0.753	0.533	3.546	3.499	2.066	-1.359
	0.958	7.309	4.432	3.489	11.866	12.735	9.588	-2.028
	0.753	4.432	4.006	2.669	5.709	6.565	5.748	-1.155
	0.533	3.489	2.669	3.025	5.470	6.432	5.509	-1.022
	3.546	11.866	5.709	5.470	78.671	85.192	61.366	-7.418
	3.499	12.735	6.565	6.432	85.192	96.447	72.514	-8.667
	2.066	9.588	5.748	5.509	61.366	72.514	59.107	-6.464
	-1.359	-2.028	-1.155	-1.022	-7.418	-8.667	-6.464	8.249
M2=	84.0466	127.3802	113.3762	92.9586	215.9417	249.1709	244.6878	120.4584
S2=	4.781	4.338	4.331	3.369	2.084	2.296	3.841	3.886
	4.338	9.610	7.733	5.028	6.486	5.529	8.298	8.485
	4.331	7.733	9.534	7.620	6.747	6.295	8.378	7.326
	3.369	5.028	7.620	8.688	5.384	4.226	5.225	3.841
	2.084	6.486	6.747	5.384	171.654	63.238	97.431	39.668
	2.296	5.529	6.295	4.226	63.238	53.382	58.101	16.686
	3.841	8.298	8.378	5.225	97.431	58.101	79.013	34.926
	3.886	8.485	7.326	3.841	39.668	16.686	34.926	66.857
M3=	77.1162	114.3597	96.7341	82.8754	159.9525	180.2351	174.3014	113.5882
S3=	30.155	59.118	55.051	45.226	30.461	24.655	24.927	21.283
	59.118	172.691	159.856	134.096	73.501	48.339	51.121	-15.435
	55.051	159.856	152.569	127.694	74.575	52.380	55.056	4.944
	45.226	134.096	127.694	110.690	57.569	40.199	43.513	-2.480
	30.461	73.501	74.575	57.569	142.209	149.370	113.912	-19.716
	24.655	48.339	52.380	40.199	149.370	177.296	139.759	-1.261
	24.927	51.121	55.056	43.513	113.912	139.759	128.991	-0.329
	21.283	-15.435	4.944	-2.480	-19.716	-1.261	-0.329	696.113

(b)

表 3 (a)傳統區集法 (b)空間轉換 (c)系統取樣 (d)遙機取樣之均數向量和共變數矩陣 (續)

M1=	68.3906	97.4844	79.9844	64.3125	123.1850	137.6875	132.4844	101.0313
S1=	5.734	4.157	3.863	3.622	3.719	4.473	5.570	2.321
	4.157	18.571	15.785	13.799	27.844	32.043	27.460	-0.523
	3.863	15.785	16.333	13.640	27.733	32.820	28.579	-0.571
	3.622	13.799	13.640	13.012	23.353	27.179	23.989	-1.613
	3.719	27.844	27.733	23.353	179.202	212.440	173.812	-6.069
	4.473	32.043	32.820	27.179	212.440	259.805	219.074	-8.514
	5.570	27.460	28.579	23.989	173.812	219.074	194.857	-8.761
	2.321	-0.523	-0.571	-1.613	-6.069	-8.514	-8.761	68.285
M2=	86.0571	133.4571	119.2000	97.9714	231.0286	251.6571	251.6286	129.7143
S2=	9.055	8.297	7.488	5.208	0.351	2.814	1.610	5.399
	8.297	67.020	61.112	37.072	64.310	-17.839	9.645	36.958
	7.488	61.112	62.282	40.682	61.759	-11.518	17.253	37.500
	5.208	37.072	40.682	33.264	24.295	-9.363	11.871	20.992
	0.351	64.310	61.759	24.295	244.087	13.686	84.599	130.861
	2.814	-17.839	-11.518	-9.363	13.686	90.997	38.692	23.781
	1.610	9.645	17.253	11.871	84.599	38.692	82.240	73.391
	5.399	36.958	37.500	20.992	130.861	23.781	73.391	157.151
M3=	75.9167	111.9444	94.3055	79.5833	155.6667	176.4722	171.8055	115.1944
S3=	19.850	21.567	24.683	22.993	24.628	22.469	26.583	26.417
	21.567	73.311	76.274	74.205	71.695	67.284	72.217	51.868
	24.683	76.274	82.904	79.531	76.876	72.766	77.404	61.396
	22.993	74.205	79.531	85.507	47.886	34.288	47.402	50.312
	24.628	71.695	76.876	47.886	419.999	465.275	419.161	144.923
	22.469	67.284	72.766	34.288	465.275	539.340	482.665	171.390
	26.583	72.217	77.404	47.402	419.161	482.665	442.331	171.209
	26.417	51.868	61.396	50.312	144.923	171.390	171.209	311.417

(c)

表 3 (a)傳統區集法 (b)空間轉換 (c)系統取樣 (d)逢機取樣之均對向量和共變數矩陣(續)

$M_1 =$	67.4063	96.5938	78.7656	63.2500	124.4844	134.3437	133.6562	98.9375
$S_1 =$	9.388	2.136	-0.776	-2.516	-0.089	3.874	-8.509	1.058
	2.136	17.547	-0.303	-1.865	5.248	2.618	-12.332	-0.216
	-0.776	-0.303	10.531	1.615	0.576	5.542	-2.558	-1.729
	-2.516	-1.865	1.615	9.397	1.401	-13.500	6.071	2.286
	-0.089	5.248	0.576	1.401	123.809	15.085	-20.863	-2.112
	3.874	2.618	5.542	-13.500	15.085	161.181	-2.372	-19.105
	-8.509	-12.332	-2.558	6.071	-20.863	-2.372	100.134	7.280
	1.058	-0.216	-1.729	2.286	-2.112	-19.105	7.280	41.933
$M_2 =$	86.3143	133.2857	121.3428	98.2857	226.6286	250.5428	248.6000	125.7428
$S_2 =$	4.751	0.084	-2.493	1.937	-4.321	-2.940	-9.076	-2.358
	0.084	51.328	8.311	-5.202	27.168	5.134	0.706	-22.865
	-2.493	8.311	24.526	-4.836	14.160	-6.544	5.171	-19.586
	1.937	-5.202	-4.836	17.269	-4.655	7.282	-19.265	5.576
	-4.321	27.168	14.160	-4.655	316.121	29.119	0.906	-62.128
	-2.940	5.134	-6.544	7.282	29.119	69.491	-18.600	2.055
	-9.076	0.706	5.171	-19.265	0.906	-18.600	110.423	-31.076
	-2.358	-22.865	-19.586	5.576	-62.128	2.055	-31.076	118.844
$M_3 =$	76.3333	110.6111	94.5555	79.5278	156.7222	176.3889	167.5000	115.8889
$S_3 =$	17.314	-3.924	-7.619	11.276	9.267	-5.305	4.829	3.410
	-3.924	21.959	8.022	7.954	-6.111	-4.987	-14.086	-9.187
	-7.619	8.022	82.882	-7.730	-48.555	70.149	2.657	13.978
	11.276	7.954	-7.730	84.999	-21.935	31.132	-38.843	17.946
	9.267	-6.111	-48.555	-21.935	422.662	12.311	49.457	-18.832
	-5.305	-4.987	70.149	31.132	12.311	446.871	9.057	49.216
	4.829	-14.086	2.657	-38.843	49.457	9.057	344.714	-49.571
	3.410	-9.187	13.978	17.946	-18.832	49.216	-49.571	198.958

(d)

(二)分類階段

本階段係根據傳統監察方法、空間轉換、系統取樣和逢機取樣所得之訓練統計值，利用概似比分類式分類原有八個波段之訓練樣區，分類結果以混淆表 (confusion table) 輸出如表 4。雖然這種訓練樣區自我分類 (self-classification of training fields) 的結果，不能被視為全區分類 (overall classification) 的測定方法，但因本研究的目的是在於空間轉換和取樣方法的提出與彼此間的比較，自我分類的結果應可代表不同方法間相對效果的比較。

表 5 為傳統監察方法和本文提出空間轉換與取樣方法間分類結果的比較，由結果知：

1. 使用最大概似分類式時，空間轉換、系統取樣，和逢機取樣之分類結果均較傳統監察方法之區

集取樣法為佳，其兩者間分類準確度的差異分別為 1.1%、10.2% 和 11.5%。由此可知，本文所提出之空間轉換方法和逢機與系統取樣方法均能提高監察分類的準確度，而改善程度的多寡以逢機取樣 11.5% 為最佳，系統取樣 10.2% 其次，而空間轉換 1.1% 為第三。

2. 不管傳統監察方法或本文所提出的方法，線性判別分類式的分類結果均大於最大概似分類式所得的結果，這種分類結果偏高的原因，主要是因線性判別分類式假設不同組類間具有共同共變數矩陣所造成。

3. 使用線性判別分類式時，空間轉換和系統與逢機取樣的結果，幾乎與傳統監察方法之區集取樣法相同，這種現象說明了線性判別分類式在本文不同方法間的比較，並不是一適當的分類式。

表 4 利用最大概似分類式和線性判別分類式之八個波段的分類結果

(a)傳統區集取樣法 (b)空間轉換法 (c)系統取樣法 (d)蓬機取樣法

組 類	分類 式	最大概似分類式 (MLC)				線性判別分類式 (LDC)					
		樣點數	柳杉	竹子	混交林	樣點數	柳杉	竹子	混交林		
柳	杉	900	577	0	323	柳	杉	900	888	0	12
竹	子	500	0	496	4	竹	子	500	0	498	2
混	交林	324	2	4	318	混	交林	324	25	7	292

(a)

組 類	分類 式	最大概似分類式 (MLC)				線性判別分類式 (LDC)					
		樣點數	柳杉	竹子	混交林	樣點數	柳杉	竹子	混交林		
柳	杉	900	607	0	293	柳	杉	900	889	0	11
竹	子	500	0	485	15	竹	子	500	0	498	2
混	交林	324	2	4	318	混	交林	324	21	7	296

(b)

組 類	分類 式	最大概似分類式 (MLC)				線性判別分類式 (LDC)					
		樣點數	柳杉	竹子	混交林	樣點數	柳杉	竹子	混交林		
柳	杉	900	757	0	143	柳	杉	900	893	0	7
竹	子	500	0	494	6	竹	子	500	0	498	2
混	交林	324	3	5	316	混	交林	324	17	8	299

(c)

組 類	分類 式	最大概似分類式 (MLC)				線性判別分類式 (LDC)					
		樣點數	柳杉	竹子	混交林	樣點數	柳杉	竹子	混交林		
柳	杉	900	804	0	96	柳	杉	900	877	0	23
竹	子	500	0	471	29	竹	子	500	0	498	2
混	交林	324	5	4	315	混	交林	324	19	13	292

(d)

表 5 空間轉換和不同取樣方法分類結果之比較

方 法	分 類 式	
	最大概似分類式	線性判別分類式
傳統區集取樣法	80.7	97.3
空間轉換法	81.8	97.6
系統取樣法	90.9	98.0
逢機取樣法	92.2	96.7

四、討 論

本文為簡化試驗，過程中僅選用三種不同的森林組類，這與遙測實際作業比較，似嫌太少。但因本研究的目的在於改善分類準確度方法之提出，組類的多少並不是影響分類結果的關鍵所在。然而，由區集取樣法所選出之三種不同森林組類的訓練樣本，其平均分散度和轉換分散度經計算如下：

	平均分散度	轉換分散度
D (柳杉&竹)	425.5	2.0
D (柳杉&混交林)	168.1	2.0
D (竹&混交林)	149.4	2.0

由轉換分散度可知，這三種森林組類的訓練樣本在空間上為完全可分。此種現象似乎無法充分說明本文所提出之方法是否對光譜重疊的組類具有同樣的效果。因此，未來研究若能針對此，則將具有更實際的意義。

五、結 論

本文以空載多譜掃描影像為材料，探討造成遙測影像分類準確度低的原因，並提出空間轉換和系統與逢機取樣法以消除空間相關對分類的影響。由試驗結果可得下列二點結論。

(一)傳統監察方法所得的分類結果最差。此符合 Fleming and Hoffer (1977) 之研究結果：「為什麼監察方法，在定義訓練樣本統計值時，為最不實用的技術」。

(二)本研究所提出的改善方法確能提高分類準確度。唯改善程度的多寡，以逢機取樣法為最佳，系統取樣法其次，空間轉換為第三。

由上述結論，筆者建議，以後若利用監察方法進行森林遙測資料之分類處理時，可採用逢機取樣或系統取樣法以選取空間相關低之訓練樣本，達到提高分類準確度的目的

誌 謝

本研究承蒙農業委員會遙感探測技術發展策劃小組支持，得以順利進行，謹致謝忱。所用影像磁帶由台灣省林務局供應；數據資料的轉換承蒙國立中央大學太空及遙測研究中心之協助，一併致謝。