

波段组合的解析几何分析*

梁顺林 黄强 胡珏

(南京大学地理系)
1989年1月23日收稿

摘 要

对波段实施组合运算是遥感数据分析中广泛使用的方法。但如何选择最佳波段,确定最佳波段组合则是波段组合分析中存在的两大关键问题。本文使用投影线与等值线的概念分析了在以两个波段的数值作为数轴的二维平面空间里各种波段算术组合(加、减、乘、除、平方和等五大种类)的几何特征,揭示出波段组合的内在机理。只要有工作区的少量地物类型的先验数据,根据它们的分布特征就能确定出应该使用何种组合。根据等值线是否能从非特征目标背景中最有效地区分出特征目标,得出最佳波段。再根据等值线在投影线上的相截区域是否能最有效地增强特征目标信息和抑制非特征目标信息确定出最佳波段组合。通过选择内蒙古地区 TM 磁带数据的应用分析,我们认为这是一种行之有效的办法。至于多于二个波段的组合机理尚待进一步分析研究。

一、引 言

随着多光谱遥感技术的发展,波段组合已成为遥感数据处理与分析的日常手段,特别是波段的算术组合如加、减、乘、除和平方和等日益引起重视。并在地质研究^[1,2],农业与土壤侵蚀调查^[3,4]等众多领域得到广泛的应用。许多应用很广的线性变换如主成分变换^[5,6],典型变量变换^[7]及穗帽变换^[8]等可以看成是波段间的加减组合。尽管有人已最佳地试用波段组合方法^[9,10],但在实际工作中还有许多问题有待解决。往往在某地区,某个专题研究时,用某些波段进行组合效果较好,但在不同地区,不同专题研究或使用不同时相、不同类型遥感数据时,使用同样的波段组合其效果并不显著。事实上目前许多研究成果中得出的最佳波段及其组合,我们对此尚缺乏评价的客观依据。因为在大量的遥感数据面前我们无法用所有的组合方法来验证它们是否为最佳效果。因此近期需要对波段组合作进一步的理论分析,提出行之有效的波段组合分析方法。

本文根据二维波段空间的地物类型分布特征,用等值线和投影线的概念分析了几种波段算术组合的几何特性,分析其在特征提取方面的有效性,并用工作区的 TM 数据作应用研究,为快速、简便地确定最佳波段及其最佳波段组合提供了一种实用的方法。

二、波段比值的等值线和投影线分析

在以两个波段数值如磁带码反射率或辐亮度(以磁带码反演出辐亮度分析见文献

* 本工作得到陈钦峦、林增春副教授,陈丙成教授及曹志宏工程师等指导和帮助,在此一并表示感谢。

[11])等为数轴的二维平面空间里,如果使用某种算术运算,必有大量的等值线(直线或曲线),每条等值线上各点经过算术运算后数值相等。为了将运算结果仍然表示在原来的二维平面图上(纵坐标轴为计算结果的数轴),我们计算了各种运算投影线方程。这样等值线与投影线的交点的纵坐标就是等值线上各点运算后的值。图 1 表示两种波段的简单比值以及几种变换比值的等值线与投影线,并给出相应的方程。 x, y 为任意两个波段 B_2, B_1 的数值,虚线表示等值线,实线为投影线。

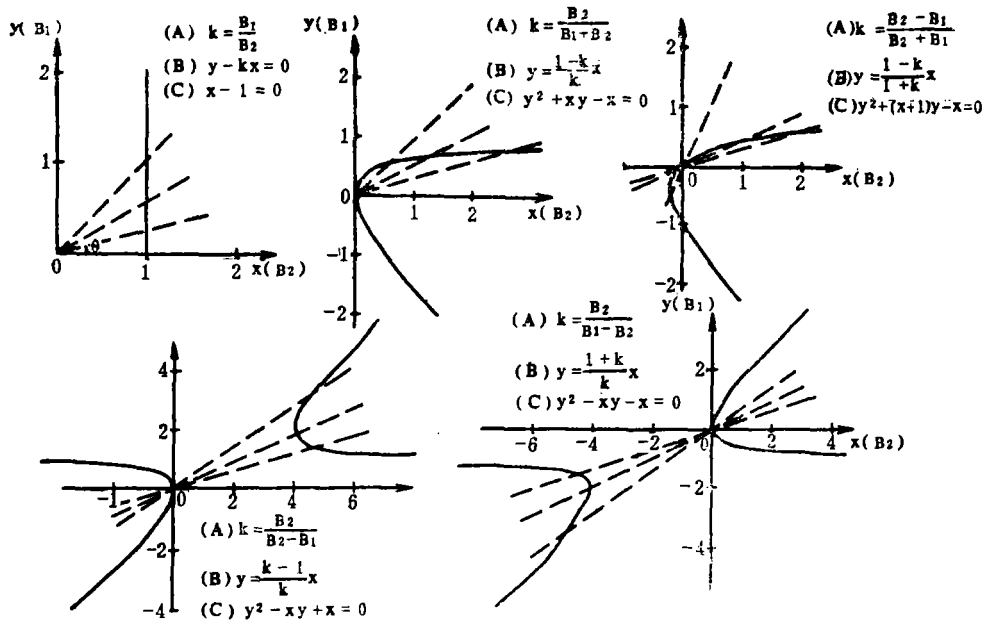


图 1 各种比值运算的等值线、投影线及其方程表达式。

(B: 虚线, C: 实线分别是比值为 K 的等值线和投影线方程)

Fig. 1 Several types of isopleths and projective lines and their equations. (B) and (C) are the equations of isopleths with ratio K and its projective line.

等值线与投影线的确定,以简单比值为例,比值结果为 K 的等值线方程为:

$$K = \frac{y}{x} = \text{tg} \theta \tag{1}$$

故

$$y = kx = \text{tg} \theta x \tag{2}$$

为了用 y 轴表示比值运算后的结果,令 $y = k$ 代入方程 (2), 则得到投影线的方程为:

$$x = 1 \tag{3}$$

用类似的方法可以求出其它比值运算的等值线与投影线方程。

从图 1 中我们可以看出,尽管投影线的形态各异,但等值线都是以原点为起点的放射状直线。这就意味着如果在二维空间里,某种地物类型沿射线分布(即等值线的斜率为正),我们称这种分布为正分布,则比值后数值变化范围较小,比值图像上灰度趋于一致。如果某种地物类型沿着射线法线方向分布(即等值线的斜率为负,我们称之为负分布)数

值变化范围太大,我们难以在比值图像上将其识别出来。此时我们不宜用比值处理。如图

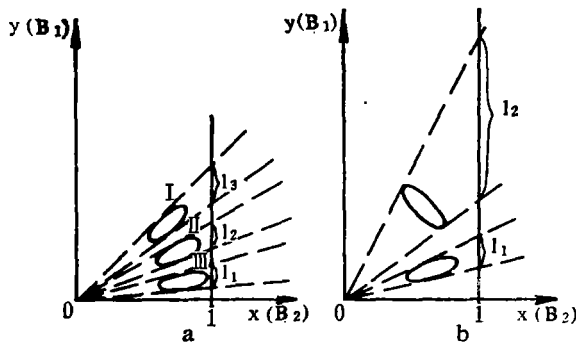


图2 不同地物分布特征,对比值的影响
(实线为投影线,虚线为等值线)

Fig. 2 Affects of different ground feature distributions on ratio value

2所示,图2a的三种地物呈正分布,因而每种地物在比值图上变化范围小易于识别。图2b,尽管两种地物类型的分布椭圆是相等的,但由于数据分布方向不同,导致了比值后数值差异较大,第二种地物的比值结果易于和其它地物结果相混。因此在二维波段空间里,如果地物呈正分布,利用比值处理有利于对它们的分离识别,否则不宜使用比值运算。实际上,很难保证有两个波段使所有地物都是正分布,且在射线方向上能准确地分离。在

所有的二维波段空间里,能够最有效地沿射线方向分离特征目标与非特征目标的二个波段就是比值运算的最佳波段。只要在类似的图1,画上地物类型分布就能很容易地做到这一点,当然这并不排除对原坐标作适当的平移,比例缩放和旋转等处理。这是我们得到的第一个重要结论。

比值运算是种非线性运算,它的结果必然使某些地物类型得到信息增强,而另一些地物类型受到抑制。所谓最佳组合就是使特征目标能获得最有效的信息增强,同时使非特性目标得到最有效的抑制。让我们用比值随角度(等值线与 x 轴的夹角)的变化关系来讨论这一问题。图3是比值运算结果 K 随角度 θ 变化的关系图,这是通过投影线方程与等值线方程联立消除 x 后获得的。从图中可见 $\frac{B_1}{B_2}$ 突出了大角度区域的地物信息,相反, $\frac{B_2}{B_1}$ 有利于突出小角度区域的地物信息; $\frac{B_1 + B_2}{B_2 - B_1}$ 、 $\frac{B_2}{B_2 - B_1}$ 、 $\frac{B_2}{B_1 - B_2}$ 等突出了 $\theta = 45^\circ$ 附近的地物特征。 $\frac{B_2}{B_1 + B_2}$ 、 $\frac{B_2 - B_1}{B_1 + B_2}$ 的 K 值与 θ 成近似线性关系。可看出,各种比值运算结果的数值差别较大,其具体数域范围举例如下:

比值运算	运算后数值范围
$\frac{B_1}{B_2}, \frac{B_2}{B_1}$	$[0, +\infty]$
$\frac{B_2 - B_1}{B_1 + B_2}$	$[-1, 1]$
$\frac{B_2}{B_1 + B_2}, \frac{B_1}{B_1 + B_2}$	$[0, 1]$
$\frac{B_1 + B_2}{B_1 - B_2}$	$[-\infty, -1] \cup [1, +\infty]$

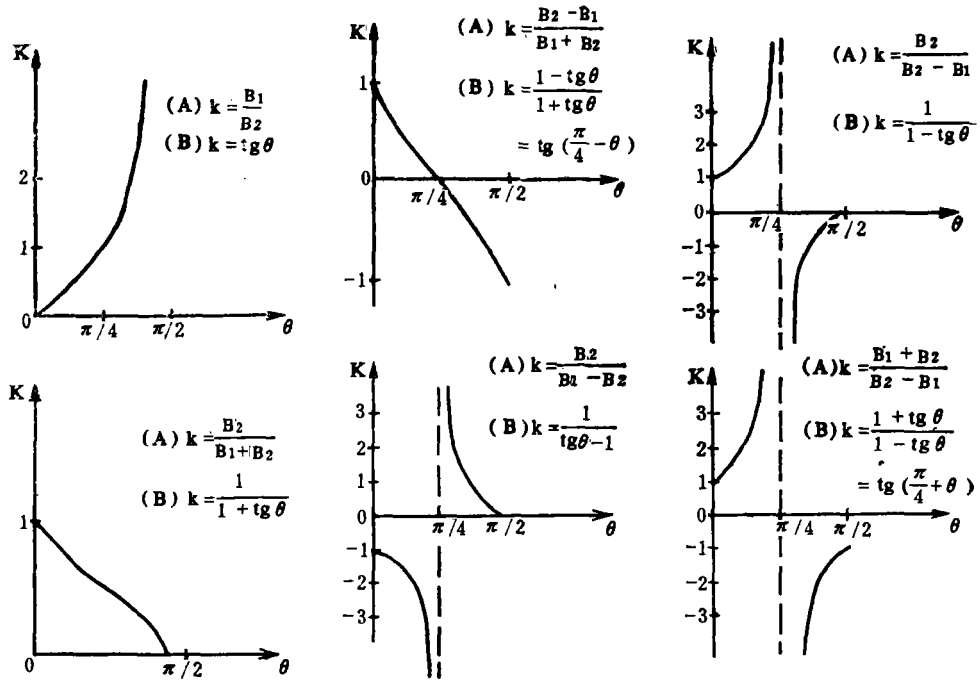


图 3 比值结果 K 随 θ 的变化关系

Fig. 3 Relationship between ratio value K and angle θ .

$$\frac{B_2}{B_2 - B_1} \quad [-\infty, -1] \cup [0, +\infty]$$

$$\frac{B_2}{B_1 - B_2} \quad [-\infty, 0] \cup [1, +\infty]$$

对此我们在具体计算时需作适当处理。当分母趋于零时,数值趋于无穷。计算机会溢出,而数值范围太小时(或中间有缺失),不能充分使用终端的显示能力。有人建议对比值再进行变换处理^[12]。我们认为这是必要的。但如果使用非线性变换,又极大地改变了数值关系,不宜直接使用本文前面的分析结果。笔者建议各种线性变换,如线性拉伸、压缩等。至于出现趋于无穷大的情形,可令大于某阈值的比值结果显示系统的最大值。

以上讨论了几种比值运算对增强大角度,小角度和 45° 附近区域的地物信息的影响。如果特征地物处于除此以外的其它区域,则可通过

平移坐标轴的方法,即将原始波段相加某个常数后再比值。再比值能达到较理想的结

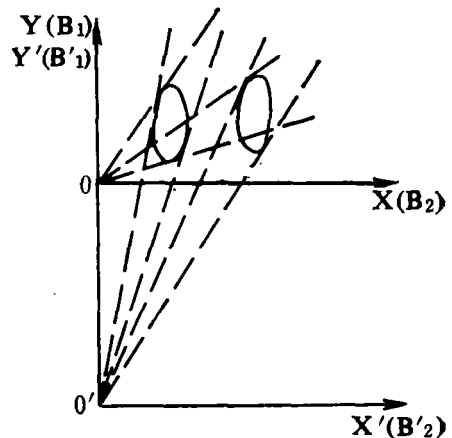


图 4 比值处理前坐标平移示意图

Fig. 4 Coordinate system parallelly moved before ratio operation.

XOY is the coordinate system before parallel movement.

X'O'Y' is the coordinate system after parallel movement.

果(图4)。有人认为只有经过较为精确的大气校正,比值才会获得好结果^[13,14]我们认为这并非一定,应该视地物光谱分布特征与所选定的比值组合有关。其位移量可大于、等于、小于大气散射量。

三、其它几种常用波段组合的几何特征分析

用上节所描述的分析比值的方法来求出加法、减法、乘法和平方和四种运算的等值线与投影线方程,其结果见图5。从图中可看出如果地物呈负分布,在 $\theta = 135^\circ$ 方向上平行可分,用加法运算,否则选择乘法或平方和运算;如果地物呈正分布,且在 $\theta = 45^\circ$ 方向上平行可分,宜用减法运算。同样依据是否最有效地分离特征目标与非特征目标以及最

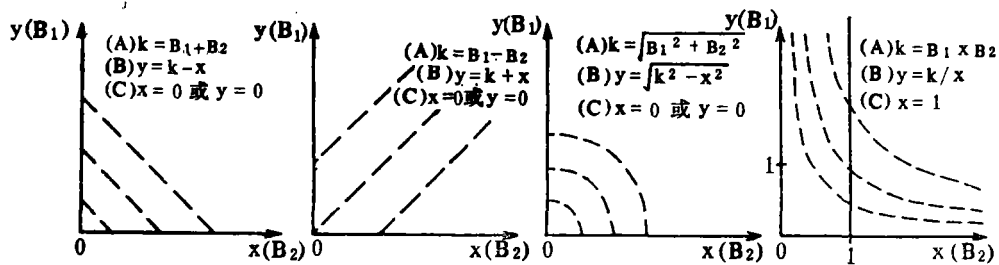


图5 加法、减法、乘法及平方和运算的等值线,投影线及其方程表达式

(B:实线,C:虚线分别是K值下的等值线、投影线方程)

Fig. 5 Isopleths and projective lines and their equations of additive, subtractive, multiplicative and square sum operations. (B) and (C) are equations of isopleths and projective lines with ratio value K respectively.

有效地增强特征目标信息而确定最佳波段和最佳波段组合。当然并不排除要对原始波段数据作某种仿射变换(即平移、旋转坐标轴等)。

四、TM 数据的应用分析

我们选择内蒙古地区一幅 TM 磁带(编号为 12732)进行上述分析的应用研究。利用 TM 标准假彩色合成图像在野外识别地物类型的基础上对像片刺点,并回到室内用 Aries III 图像处理系统打印出分类地物的 TM2—TM7 波段的磁带数码值(热红外波段除外)。其均值曲线见图6。由图可见 TM2、3、5、7 地物的数码值差别较大,大多数地物类别之间的差异显著,但低反射的地物难以识别。而且这几个波段的相关性极为显著,从图7 TM2 与 TM3 的地物类型分布图可以看得很清楚。除了低数值的地物类型外,大多数地物可通过加、乘或平方和的组合方式加以区分。如果用这两个波段进行比值组合或相减,显然其结果比原始数据更难区分地物。其它几种波段组合如(2,5),(2,7),(3,5),(3,7),(5,7)都有类似的问题。图8是 TM2 与 TM4 的地物类型分布图,如果只施行一次组合运算,无论加、减、乘除、平方和其效果都不好,但如果实施二次运算,即比

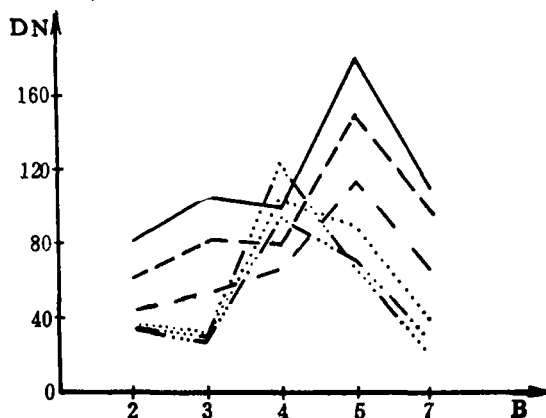


图 6 中国内蒙古某地区几种地物类型 TM 数据均值曲线图

Fig. 6 TM data mean value curves of several ground features somewhere in INner Mongolia, China.

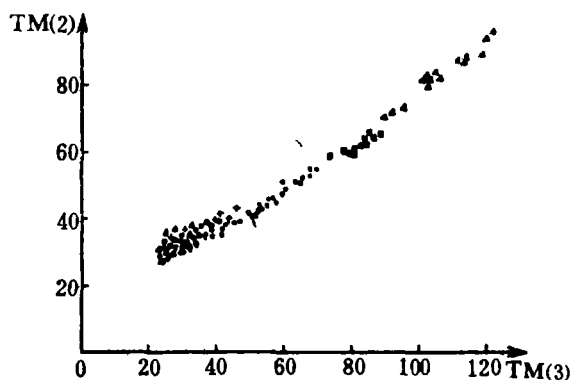
图 7 TM₂、3 波段二维数据地物分布图

Fig. 7 Ground feature distributions in TM₂ and TM₃ two-dimension band space.

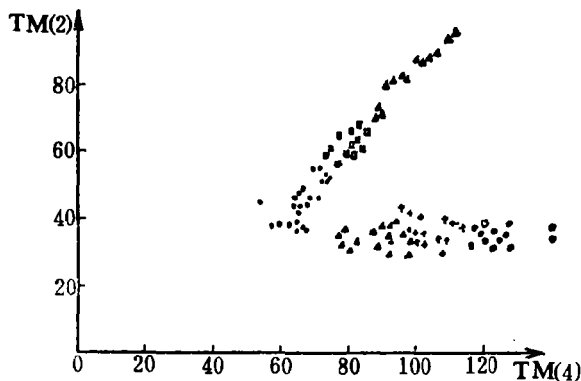
图 8 TM₂、4 波段二维数据地物分布图

Fig. 8 Gound feature distributions in TM₂ and TM₄ two-dimension band space.

值和平方和运算,则在新的二维空间里(比值维和平方和维)地物更易区分。具体地讲,比值处理能区分出两大类:第一类为碱滩地、寸草滩下湿地和灌丛;第二类为草地、杨树、芦

苇和农田,但每大类的地物更不宜区分。而平方和运算却使每大类内的地物根据以到原点的距离加以识别。其它几种波段组合如(3,4),(4,5)(4,7)都能得到类似结论。这就说明波段组合一定要针对具体问题而定,在未掌握工作区地物分布特征时,推导任何详尽的公式都是无济于事的。

五、结 论

要想有效地利用波段组合方法实施对遥感数据分析,必须解决:一、选择最佳波段,二、确定最佳波段的组合方式。这两个关键性问题。通过对两个波段组合的几何特征分析和 TM 数据的应用研究,我们认为在二维波段空间里利用等值线和投影线的概念来解析遥感数据,是解决这两类关键问题有效的办法。只要有工作区内可供学习的训练数据,这种方法适用于任何地区、工作任务、时相和类型的遥感数据。在实施波段组合运算之前使用这种分析方法,可节约大量人力和机时,是种实用而经济的方法。通过对等值线和投影的分析研究我们得出如下几点结论:

(1) 比值,减法运算适用于地物数据为正分布情形。加法、乘法运算和平方和适用于地物为负分布情形。

(2) 比值运算,不管其如何变化,如各式各样的植被指数,其等值线都是以原点为起点的放射线,其有效性在于特征信息是否可在射线方向上分离。

(3) 为了获得更理想的结果,应在波段组合之前进行某种仿射变换处理(即相当于坐标轴平移、旋转等)。而且通常还需对运算结果作适当处理,以便充分利用终端显示能力。

(4) 最佳波段的选择是在确定某种组合方式的基础上进行。确定哪一种波段组合方式取决于地物类型在二维波段空间里的分布(即正、负分布),使等值线最有效地区分特征目标与非特征目标的波段为最佳波段。最佳波段组合的确定是在二个最佳波段的二维空间里使等值线与投影线相截的区域能获得特征信息最大的增强和非特征信息最大的抑制。

参 考 文 献

- [1] Merrifield, p. m. & Lamar, d. l., Enhancement of Geological Features near Mojave, California by Spectral Band Rationing of Landsat Mss Data, Proceedings of 10th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan, 1067—1075, 1975.
- [2] Borengasser, M. X. & Taranik J. V., Evaluation of SPOT Simulator Data for the Detection of Alternation in Coldfield Cuprite, Nevada, Photogrammetry Engineering & Remote Sensing, 51, 1109—1114, 1985.
- [3] Gardner B. R., Blad B. L., Thompson D. R. & Henderson K. E., Evaluation and Interpretation of Thematic Mapper Ratios in Equations for Estimating Corn Growth Parameters, Remote Sensing of Environment, 19, 225—234, 1985.
- [4] Pickup, G. & Nelson D, J., Use of Landsat Radiance Parameters to Distinguish Soil Erosion Stability and Deposit in Arid Central Australia, Remote Sensing of Environment, 16, 195—209, 1984.
- [5] Byrne E. F., Grapper P. F. & Mayo K. K., Monitoring Landcover Change by Principal Components Analysis of Multispectral Landsat Data, Remote Sensing of Environment. 10, 175—184, 1980.
- [6] Ingebritse S. E. & Lyon R. J. P., Principal Components Analysis of Multitemporal Image Paris, International Journal of Remote Sensing. 6, 687—696, 1985.
- [7] Jensen S. K. & Waltz F. A., Principal Components Analysis and Canonical Analysis in Remote Sensing,

- Proceedings of American Photogrammetric Society 45th Ann. Meeting. 337—348, 1979.
- [8] Kauth R. J. & Thomas G. S., The Tassled Cap—A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat, Proc. LARS 1976 Symp. on Machine Process Remotely Sensed Data. Purdue University. 41341—41351, 1976.
- [9] George H. & Dusseault M. B. 1986. Selection of Optimum Bandratio Triplets Using Statistical Data of Original Single-band Image. Canadian Journal of Remote Sensing. 12. 114—123.
- [10] Sheffield C. 1985. Selecting Band Combination from Multispectral Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 51. 581—687.
- [11] Price J. C. 1987. Calibration of Satellite Radiometers and the Comparison of Vegetation Indices, Remote Sensing of Environment. 21. 15—27.
- [12] Hord R. M. 1982. Digital Image Processing of Remotely Sensed Data. Academic Press, INC. (London) LTD. 86—87.
- [13] Kowalik W. S. Lyon R. J. P. & Switzer P. 1983. The Effects of Additive Radiance Terms on Ratios of Landsat Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 49. 659—678.
- [14] Crippen R. E. 1987. The Regression Intersection Method of Adjusting Image Data for Band Rationing. International Journal of Remote Sensing. 8. 137—155.

Geometric Characteristics and Mechanism Analysis of Band Combinations

Liang Shunlin Qiang Huang Jue Hu

(Dept. of Geoscience and Oceanography, Nanjing University)

Abstract

It is a widely used approach to perform band combinations in analysis of remotely sensed data. However, how to select best bands and how to determine best band combinations, are two key problems in band combination analysis which have not solved yet. One of major reasons is lack of deep understanding to band combination mechanism. Concepts of projective line and isopleth are used in this paper to analyze the geometric characteristics of each band arithmetic combination (such as addition, subtraction, multiplication, division and square sum etc.) in two dimension plane space so as to reveal intrinsic mechanism of band combination. Provided a little amount of ground feature data are available, band combination scheme can be determined according to data distribution characteristics (i.e. positive or negative distribution). Also, best bands can be determined depending upon whether the isopleth could most efficiently distinguish characteristic objects from non-characteristic objects background or not. Then, best band combinations can be determined according to whether projective area of sopleth could most efficiently enrance characteristic object information and suppress non-characteristic object information or not. It is proved through the case study by analysis of Thematic Mapper CCT data in Inner Mongolia, (China) that the approach discussed in this paper is practical and efficient. As to combination mechanism of more than two bands, further analysis is expected.