

胶州湾幅多光谱遥感信息的 KL 变换及其解译*

黄宝艇 李成治

(中国科学院海洋研究所)

本文采用了I²S101型数字图象处理系统对胶州湾幅 CCT 磁带信息进行了 Karhunen-Loeve 变换(简称 KL 变换)。这是对多光谱遥感信息首次进行维数压缩的一次尝试,取得了较好的解译成果。

从随机向量 X (灰度向量) 的协方差矩阵本征值 λ 的结果表明, 离散的随机变量经 KL 变换后所得到的主成分向量 Y 彼此间已经不存在相关性了, 并且, 由变换后的主成分图象, 对胶州湾各类地貌形态特征进行了圆满的解译。经实地考察, 对解译成果进行了验证。最后, 文章肯定了四维(或任意多维)遥感数字图象信息在数据压缩传输中及对主成分图象进行全面分析研究而采用 KL 变换的重要意义, 并阐明了笔者新的认识。

一、引 言

近年来, 随着空间遥感技术的迅速发展, 利用陆地卫星象片及磁带的原始资料在自然科学领域中获得了广泛的应用。

由于遥感具有视野广阔、直观性强、探测速度快、经济效益高, 特别是采用微波遥感技术时, 它具有近于全天候的遥测能力, 能迅速取得全球陆地及海洋的有关情报。无疑, 遥感技术必将获得迅速的发展。

自七十年代以来, 我国不断地从国外引进了大量的地球资源卫星原始资料, 但引进的主要是多光谱卫片。因为任何地表物体对多光谱的反射及吸收能力存在着一定差异。因此, 反射光谱特性是可见光遥感方法识别地物的主要依据。以 ERTS-2 的多光谱象片为例:

MSS₄(0.5—0.6 μ): 对浅水具有较强的穿透能力, 能显示浅水地貌及泥沙扩散等。

MSS₅(0.6—0.7 μ): 对岩性及土壤类型显示清晰, 对潮间浅滩、浅海地貌及泥沙运动等均有显示能力。

本文 1981 年 11 月 13 日收到。

* 本文承山东大学光学系陈继述、中国科学院地理研究所许殿元同志审阅, 地质部地质研究所遥感室陈乾元、中国科学院遥感应用研究所董寿彬同志承担 I²S101 系统信息处理; 山东大学光学系崔俊平、徐宗泉同志给予热情关切; 本所严理、张弘同志绘图, 一并致谢。

MSS₆(0.7--0.8 μ): 对水体及湿地反映明显,对水体及植被的过渡带,区分显示清晰.

MSS₇(0.8--1.1 μ): 对水陆界线及侵蚀海岸区分明显.对潮间带、古河道、海岸边滩及盐度、叶绿素含量等均有明显显示.

然而,多光谱四个波段的信息却是相关的,它们提供了相关的图象信息.若要对地物进行全面解译,势必对四个波段的信息进行综合分析研究.事实上,这不是一种理想的工作方案.可以设想,若将多光谱四个波段的信息压缩在一个波段(主成分)或两个相互独立的波段(主成分)上进行全面解译,乃是一种最佳的工作方案之一.这种新方案的基本方法,可采用 KL 变换得以实现.

二、多光谱遥感信息的 KL 变换原理

设 X 为四维空间(即四个波段同各点灰度的随机变量)的波谱向量,

令

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}, \text{ 则 } X^T = (x_1, x_2, x_3, x_4).$$

其中, X 向量的协方差矩阵为:

$$\Sigma_x = \begin{pmatrix} E(x_1 - \bar{x}_1)^2 & E(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2) & E(x_1 - \bar{x}_1)(x_3 - \bar{x}_3) & E(x_1 - \bar{x}_1)(x_4 - \bar{x}_4) \\ E(x_2 - \bar{x}_2)(x_1 - \bar{x}_1) & E(x_2 - \bar{x}_2)^2 & E(x_2 - \bar{x}_2)(x_3 - \bar{x}_3) & E(x_2 - \bar{x}_2)(x_4 - \bar{x}_4) \\ E(x_3 - \bar{x}_3)(x_1 - \bar{x}_1) & E(x_3 - \bar{x}_3)(x_2 - \bar{x}_2) & E(x_3 - \bar{x}_3)^2 & E(x_3 - \bar{x}_3)(x_4 - \bar{x}_4) \\ E(x_4 - \bar{x}_4)(x_1 - \bar{x}_1) & E(x_4 - \bar{x}_4)(x_2 - \bar{x}_2) & E(x_4 - \bar{x}_4)(x_3 - \bar{x}_3) & E(x_4 - \bar{x}_4)^2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

设矩阵 Σ_x 的本征值为 λ_i ($i = 1, 2, 3, 4$), 对应的四个彼此正交的单位本征向量为:

$$\vec{\Phi}_i = \begin{pmatrix} \varphi_{i1} \\ \varphi_{i2} \\ \varphi_{i3} \\ \varphi_{i4} \end{pmatrix}, \text{ 则 } \vec{\Phi}_i^T = (\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \varphi_{i3}, \varphi_{i4}).$$

令

$$K = \begin{pmatrix} \phi_1^T \\ \phi_2^T \\ \phi_3^T \\ \phi_4^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \varphi_{13} & \varphi_{14} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \varphi_{23} & \varphi_{24} \\ \varphi_{31} & \varphi_{32} & \varphi_{33} & \varphi_{34} \\ \varphi_{41} & \varphi_{42} & \varphi_{43} & \varphi_{44} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

其中, K 为 4×4 的变换矩阵. 因为 K 是正交矩阵, 因此它的逆矩阵也就是它的转置矩

阵, 即 $K^{-1} = K^T$,

则变换:

$$Y = KX. \quad (3)$$

称为 KL 变换. 主成分 Y 仍为一个四维随机向量:

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{pmatrix}.$$

其中, y_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 是随机变量. 又因为 K 是由 Σ_x 的四个彼此正交的单位本征向量组成的矩阵, 所以根据本征向量定义:

$$\vec{\Sigma}_x \vec{\Phi}_i = \lambda_i \vec{\Phi}_i \quad (i = 1, 2, 3, 4). \quad (4)$$

故主成分 Y 的协方差矩阵可化简为下列公式:

$$\vec{\Sigma}_Y = K \vec{\Sigma}_x K^T = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \lambda_3 & \\ & & & \lambda_4 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

这说明: $E\{(y_i - \bar{y}_i)^2\} = \lambda_i$ ($i = 1, 2, 3, 4$).

而当 $i \neq j$ 时, $E\{(y_i - \bar{y}_i)(y_j - \bar{y}_j)\} = 0$.

由此可知, 主成分随机变量彼此间不具有相关性了. 因此, 若想对四维遥感信息实行数据压缩再传输及对主成分象片进行全面总体解译而必须采用 KL 变换的理由得到论证.

三、多光谱遥感信息(CT129'35, 512 × 512)

的 KL 变换结果分析

(一) 运算结果

本征值:

0.95780 0.03269 0.00588 0.0036

斜三角协方差矩阵:

5.039
10.43 33.44
14.23 51.91 90.05
12.11 47.63 85.52 85.31

标准偏差向量:

2.24 5.78 9.49 9.42

均值向量:

14.80 16.90 15.20 10.30

(二) KL 变换结果分析

多光谱遥感信息 (CT129'35, 512×512) 经 KL 变换处理后所得到的主成分 λ_i 中, 其中 λ_1 及 λ_2 几乎保持了原来所有波段上的全部信息量。由此可知, 主成分随机变量彼此间的相关性已减少到最低限度, 这个结论从主成分 λ_1 的图象信息中, 再次获得验证 (图 1, 2)。并且, 原来的四个波段信息, 经 KL 变换后转变到一组新的波段上 (主成分)。各主成分的信息量依次减少, 这就非常有利于运用变换后的主成分图象对不同的地物信息做出全面的综合性的分析研究。

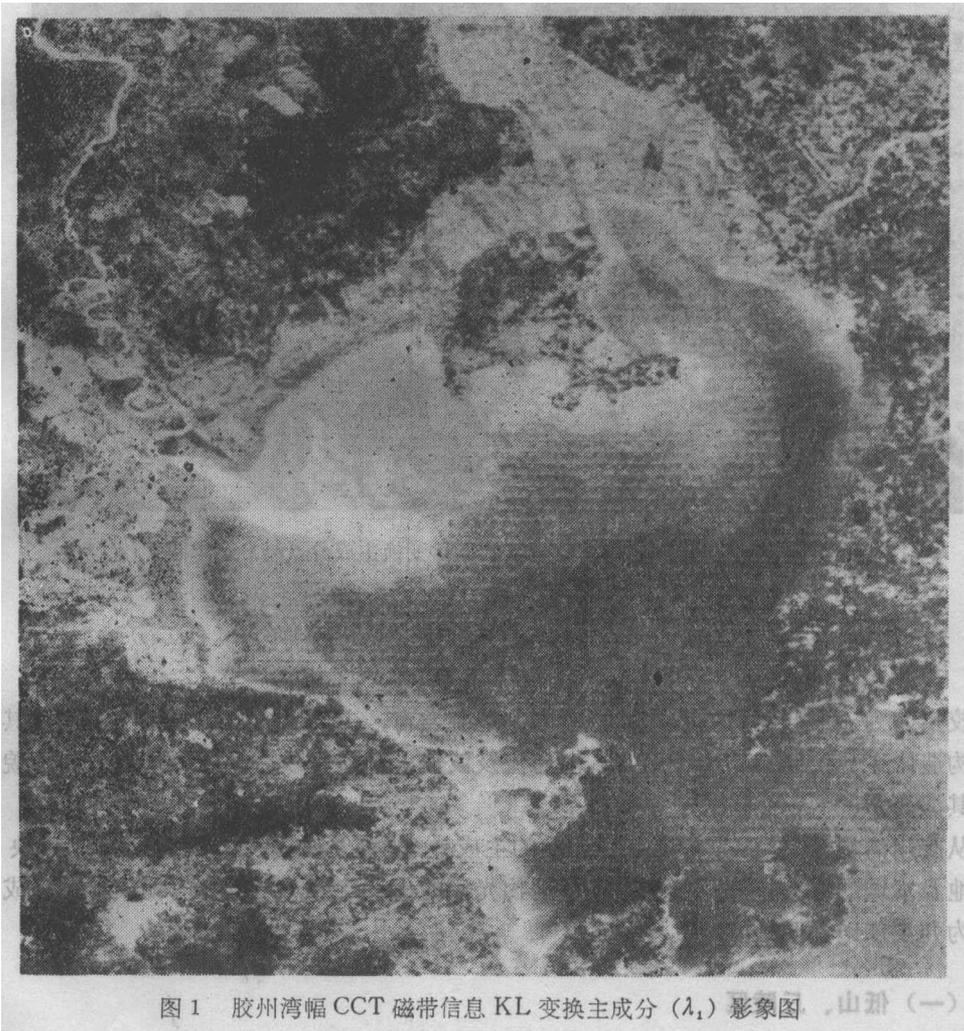




图2 胶州湾幅 CCT 磁带信息 KL 变换主成分 (λ_2) 影象图

四、主成分($\lambda_{1,2}$)影象的地貌解译

胶州湾为一形似菱状的浅水盆。湾内的地貌发育，主要受内力作用（华夏系及其棋盘格式构造体系）控制，外力作用（入海河流及波浪、潮流）改造，并决定着湾内地貌的结构及其演变。

从胶州湾幅 CCT 磁带信息 KL 变换的主成分 ($\lambda_{1,2}$) 影象中，可以清楚地反映出湾岸陆地及水域的形态特征。根据影象中地物光谱的信息特征，结合湾内物质结构组成，可区分为九类加以说明(图3)。

(一) 低山、丘陵区

本区主要分布在崂山一小珠山一带，由燕山期崂山花岗岩组成。主要受北东—南西向华夏构造体系控制，构造断裂、岩脉发育，控制着湾口海岸轮廓。基岩海蚀微地貌及砂砾

岩滩发育, 如薛家岛、团岛、黄岛及海湾西岸。

(二) 剥蚀-冲积平原区

分布在海湾的西北及东北陆域。岩性有白垩系火山杂岩、红色砂页岩等。其地表岩层受风化剥蚀。大沽河、石桥河及白沙河等流经的平原区覆盖着第四系冲积物, 地势低平, 属胶县冲积平原。

(三) 剥蚀平原区

分布在海湾北面的红岛及以北陆域。岩性为白垩系火山杂岩, 其构造断裂发育, 岩层受强烈风化剥蚀, 导致地形微有波状起伏, 地表高程为 5—40 米。

(四) 人工盐田

位于海湾的西北沿岸, 分布于沿海冲积平原与潮间带之间。在 KL 变换的主成分影象图上显示十分清晰。

(五) 潮间带

在海湾的西北沿岸十分发育。根据潮汐涨落淹没范围可分为潮间带上部的高潮滩及下部的低潮滩。由于大沽河入海冲淡水及地形的影响, 根据物质组成、滩面坡度、微地貌特征以及浑水带的分布, 因此, 潮间带的下部又可分为 2—3 个带。如大沽河南侧的潮间带下部, 就可分成 3 个带, 这在主成分影象图上反映十分清晰。

(六) 水下浅滩

分布在潮间带低潮滩的下界, 处于海湾的中部。水深为 2—5 米的地区。地势平坦, 形似水下平台, 构成了海湾内的潮流扩散区。

(七) 水下斜坡

沿水下浅滩下缘分布。由于湾口进出潮流的冲蚀作用, 导致地形向湾口倾斜, 呈水下斜坡。

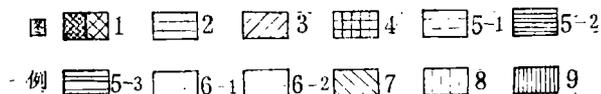


图 3 胶州湾幅 CCT 磁带信息 KL 变换主成分 ($\lambda_{1,2}$) 影象地貌解译图

1—低山丘陵区, 2—剥蚀-冲积平原区, 3—剥蚀平原区, 4—人工盐田, 5-1—潮间带上部(高潮滩), 5-2—潮间带下部(低潮滩), 5-3—河口冲淡水舌, 6-1—水下浅滩, 6-2—水下沙滩, 7—水下斜坡, 8—潮流冲刷槽, 9—水下冲蚀谷地。

(八) 潮流冲刷槽

分布在海湾的东侧, 位于青岛大港至沧口间, 有一条通向南北的深水道, 称为沧口水道。该水道呈长条形, 长达 20 余公里, 实属潮流冲刷槽。

(九) 水下冲蚀谷地

地处湾口, 进出胶州湾潮流通道。

综观上述, 多光谱遥感信息 (CT129'35, 512×512) 经 KL 变换后所得到的主成分图象, 对海岸带的陆地及水域地貌形态特征进行了较好的解译, 特别是对潮间带的分类及分带显示十分清楚。

五、结 语

综合上述各节可得出下列结论:

1. KL 变换方法, 对压缩信息量的传输及对多光谱信息的压缩研究具有重要的意义。
2. 从胶州湾幅 CCT 磁带信息经 KL 变换处理后的结果表明, KL 变换方法对多光谱信息的压缩研究是成功的, 这从变换后的主成分影象及地貌解译图上, 得到验证。
3. 关于图象分类, 可运用比值方法。可以预言, 这些不相关的比值图象比那些高度相关的波段信息, 对我们所研究的主题往往会产生更理想效果。因此, 可以再进一步运用比值的主成分分析来代替比值图象的应用, 是 KL 变换应用研究的重要课题之一。

参 考 文 献

- (1) 福永圭之介著, 陶笃纯译, 统计图形识别导论, 科学出版社, 1978, 258—263.
- (2) Swain, P.H. and Davis, S.M., *Remote Sensing: The Quantitative Approach*, McGraw-Hill International Book Company, 1978, 174—176.