

カルマンフィルタによる土地被覆カテゴリ分解

信州大学工学部 正会員 奥谷 巖
 信州大学大学院 ○伊賀 元泰
 信州大学工学部 高橋 孝一

1. はじめに

従来の解析方法として代表される判別分析法・最尤法は、データの属性をサンプルとの類似度を尺度に統計的に決定している。そのため複数の属性を含む画素(混合画素)に対しては、全く関係のない単一クラスから構成される画素(ピュアピクセル)として分類され、画素間相互に不自然な判別が発生することになる。そこで本研究では、推定の基本的考えを画素における各カテゴリ面積占有率の算出におき理論を展開する。また推定方法として観測データを有効に利用し、逐次的に推定値を更新できる等の優れた面を持つカルマンフィルタ理論を応用した方法を提案し、従来手法との比較によりその有効性を実証的視点から検討を行う。

2. カルマンフィルタの適用

1) 分光特性推定理論

本研究では混合画素における輝度データは各カテゴリの特徴を表す輝度(分光特性)の合成である¹⁾と考える。またピュアピクセルデータを分光特性値として採用する方法が提案されているが、そのデータの存在が前提となり、カテゴリを任意に設定することが困難になると考えられる。そこで、以下に述べる方法により任意のカテゴリ設定における各分光特性値の決定を可能にした。

まず被覆分類を推定する地域(テストエリア)と同一シーンにおいて選定した学習地域(トレーニングエリア)から任意に小区域 k を抽出し、その観測データを次のモデルで表した。

$$\mathbf{y}(k) = r_1(k) \cdot \mathbf{x}_1(k) + r_2(k) \cdot \mathbf{x}_2(k) + \cdots + r_i(k) \cdot \mathbf{x}_i(k) + \cdots + r_m(k) \cdot \mathbf{x}_m(k) + \mathbf{e}(k) \quad (1)$$

ここで、カテゴリ i の分光特性 $\mathbf{x}_i(k)$ は、

$$\mathbf{x}_i(k) = [x_{i1}(k), x_{i2}(k), \dots, x_{ji}(k), \dots, x_{in}(k)]^T \quad (2)$$

である。ただし、 $\mathbf{y}(k)$: 区域 k のバンドデータ (n 次元ベクトル)、 $r_i(k)$: 区域 k でのカテゴリ i の面積占有率、 $\mathbf{e}(k)$: 雑音による誤差 (n 次元ベクトル)、 $x_{ji}(k)$: 区域 k のカテゴリ i におけるバンド j の分光特性値である。また、 $x_{ji}(k)$ は未知、 $\mathbf{y}(k) \cdot r_i(k)$ は既知の値として(1)式を考えると次のようになる。

$$\mathbf{y}(k) = \Lambda(k) \cdot \mathbf{x}(k) + \mathbf{e}(k) \quad (3)$$

ここで

$$\Lambda(k) = \begin{pmatrix} \mathbf{r}^T(k) & \cdots & 0 \\ & \ddots & \vdots \\ & & \mathbf{r}^T(k) \\ 0 & \cdots & \mathbf{r}^T(k) \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{x}(k) = [x_{11}(k), x_{12}(k), \dots, x_{1m}(k), \dots, x_{n1}(k), x_{n2}(k), \dots, x_{nm}(k)]^T \quad (5)$$

ただし、 $\mathbf{r}(k)$: 区域 k における各カテゴリの面積割合 (m 次元ベクトル)、 $\mathbf{x}(k)$: 区域 k の分光特性値 $x_{ji}(k)$ を含む $n \times m$ 次元ベクトルである。また式(3)は $\mathbf{x}(k)$ を状態量、 $\mathbf{y}(k)$ を観測量とする観測方程式とみなす。さらに $\mathbf{x}(k)$ に関する状態方程式は、連続的に抽出した小区域においてその値に大きな変化はないものとして、

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k) \quad (6)$$

とする。ただし、 $\mathbf{v}(k)$: m 次元の誤差ベクトルである。以上より式(3)、(6)を基本システムとして推定式は、

$$\hat{\mathbf{x}}(k|k) = \hat{\mathbf{x}}(k-1|k-1) + \mathbf{K}(k) \cdot [\mathbf{y}(k) - \Lambda(k) \cdot \hat{\mathbf{x}}(k-1|k-1)]^{-1} \quad (7)$$

と表される。ただし、 $\mathbf{K}$ はカルマンゲインとよばれるもので一連の漸化式により求められるものである。以上より逐次的に各正方形の分光特性値 x_{ji} が推定されるが、値が徐々に改善していくため収束値の平均をもって分光特性値 h_{ji} とする。

2) 被覆状態推定理論

つぎにテストエリアとして選定した地域を正方形に区分し、各正方形の被覆状態の推定を行う。ここでカテゴリ割合は未知数であるので(1)における面積割合 r を変数 z におきかえ、求められた分光特性値を $\mathbf{H}(h_{ji})$ を i, j 要素にもつ $n \times m$ の変換行列)として(1)式を考える。すると観測方程式は、

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{H} \cdot \mathbf{z}(k) + \mathbf{e}(k) \quad (8)$$

である。また $\mathbf{z}(k)$ については、図1のように等間隔に移動する正方形(移動正方形)を考え、わずかな移動距離では移動正方形 k の被覆状態に変化はないものと仮定すると、状態方程式は次のようになる。

$$\mathbf{z}(k+1) = \mathbf{z}(k) + \mathbf{w}(k) \quad (9)$$

さらに推定式は次式のように与えられ逐次的に推定を行うことができる。

$$\hat{\mathbf{z}}(k|k) = \hat{\mathbf{z}}(k-1|k-1) + \mathbf{K}(k) \cdot [\mathbf{y}(k) - \mathbf{H} \cdot \hat{\mathbf{z}}(k-1|k-1)]^{-1} \quad (10)$$

($\mathbf{w}(k)$: m 次元の誤差ベクトル, $\mathbf{K}(k)$: 移動正方形 k のカルマンゲイン)

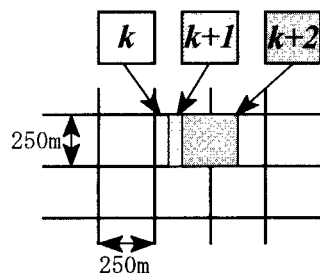


図1. 移動正方形

3. 具体的適用例

1) 実データでのカテゴリ分解

本研究では、選定基準を様々なカテゴリを含む地域として小田原市周辺の4km×8kmの矩形エリアを対象地域に決定した。観測データはJERS-1データ(1993年8月23日撮影)を使用し、地表被覆データは衛星データから時間的に開きのない航空写真(1993年8月23日撮影)より目視によって判読したものを用いる。つぎ

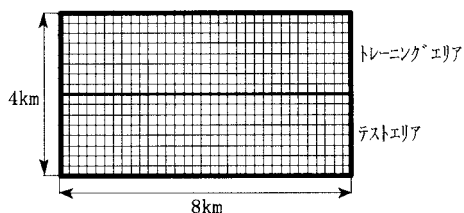


図2. 推定対象地域

に推定対象地域を図2に示すように250m×250mの正方形(単位正方形)に分割し、北半分をトレーニングエリアとし南半分をテストエリアとして使用する。さらに各単位正方形を25m×25mの正方形(最小単位正方形)に分割し、この最小単位正方形単位でカテゴリの面積占有率を判読するものである。またカテゴリの分類項目は、物質の反射特性等を考慮した13項目に設定したものである。以上の実データを用いた実験は、解析手法としてカルマンフィルタ理論とファジィ理論^{2) 3)}を採用し、それぞれトレーニングエリアより分光特性の算出、ファジィ規則の構築に用いるデータを抽出するものであり、テストエリアでその精度を比較実験する。

2) 仮想データでのカテゴリ分解

判別分析法など従来手法では、各カテゴリのサンプルデータが必要となるが、本研究で設定したすべてのカテゴリに対してピュアピクセルを抽出するのは非常に困難であり、またその個数にばらつきがある。そこで比較的抽出しやすいカテゴリを5項目選択し、そのみ存在する仮想の対象地域を考えた。まず実際の土地被覆状態を参考にしてカテゴリ面積占有率を既知のデータとして設定し、カテゴリ合成¹⁾により衛星データを決定する。ただし、分光特性値として図2の対象地域から得られたサンプルデータを用いる。以上により設定された理想的な観測データを用い、従来手法である判別分析法・最尤法さらに二次計画法¹⁾・ファジィ推論^{2) 3)}を加えた4手法と本研究の理論を用いて推定を行う。なお詳細な結果等は講演時にて発表する。

【参考文献】

- 1) 稲村；カテゴリ分解に基づくリモートセンシング画像データの解析，電子情報通信学会論文誌'87/2, Vol. J70-CN0. 2, pp241-250, 昭和62年。
- 2) 奥谷, 両川；ランドサットデータを用いたファジィ推論による土地被覆分類，電学論C, 113巻7号, pp520-526, 平成5年。
- 3) 奥谷, 両川, 伊賀；ファジィ推論のリモートセンシングへの応用について，平成4年度研究発表会講演概要集, IV-33, 土木学会中部支部, 平成5年。