

ファジィフィルタを用いた衛星データの土地被覆分類法とその性能

信州大学工学部 正会員 奥谷 巖
信州大学工学部 ○水谷 新

1. まえがき

土地被覆状態を推定する従来の方法としては、最尤法、判別分析法などがある。これらの方法は、1つのカテゴリからなる区域においては有効な方法であるが、瞬時視野内に複数のカテゴリが混在する場合は、それぞれのカテゴリの特徴が現れなかったり、全く別のカテゴリに分類してしまう可能性があり、その処理には問題がある。

本研究では複数のカテゴリが存在する地域に対応し、データのばらつきにも対応出来るようにファジィフィルタを導入し、カテゴリ分光特性の同定と土地被覆状態の推定を行う方法を提案した。

2. リモートセンシングへの応用

<2. 1> 分光特性の同定

画素データにはバラツキがあり、従来の方法ではそのデータのもつ曖昧さに対処しきれない。これに対応するためファジィ数にはいろいろなものが考えられるが本研究ではカテゴリ分光特性に実用性の最も高い対称な三角形ファジィ数を用いる。

まず、バンドデータ数 N 個、同定する土地被覆分類項目数を M 個とする、そしてトレーニングエリアを k 個の区域に分割する。

単位正方形 k におけるカテゴリ i のバンド j の分光特性値 $X_{ji}(k)$ と単位正方形 k におけるバンドデータ $Y_j(k)$ をファジィ数で表すと

$$X_{ji}(k) = (m_{ji}(k), w_{ji}(k))_L \quad (1)$$

$$Y_j(k) = (y_j(k), q_j(k))_L \quad (2)$$

$m_{ji}(k)$ $y_j(k)$: 三角形メンバシップ関数の中心

$w_{ji}(k)$ $q_j(k)$: 三角形メンバシップ関数の幅

トレーニングエリア内の単位正方形 k の土地被覆カテゴリ別面積割合 $r_i(k)$ とトレーニングエリア内の単位正方形 k の衛星データ $Y_j(k)$ は予め与えておく。(1)式、(2)式で定義したカテゴリ分光特性値とバンドデータの関係を表す観測方程式は

$$Y_j(k) = \sum_{i=1}^M r_i(k) X_{ji}(k) + E_j(k) \quad (3)$$

となる。 $E_j(k)$ は(3)式を等号で成立させる誤差項であり、ファジィ数と同様に中心と幅に対応する

数を与えて定義するが必ずしも正ではない。

状態方程式は相隣る単位正方形の間でカテゴリ分光特性はわずかな変化しかしないことから

$$X(k+1) = X(k) + D(k) \quad (4)$$

ここに $X(k)$ は $X_{ji}(k)$ を要素とするファジィベクトルである。同様に、 $D(k)$ は先に示した $E_j(k)$ と同じ性質をもつ誤差項 $D_{ji}(k)$ を要素とするベクトルである。

(4)式を要素で書くと

$$X_{ji}(k+1) = X_{ji}(k) + D_{ji}(k) \quad (5)$$

となるが、いま $D_{ji}(k) = (d_{ji}(k), u_{ji}(k))_L$ のようにファジィ数と同じ形式で表しておくと、結局(5)式は

$$m_{ji}(k+1) = m_{ji}(k) + d_{ji}(k) \quad (6)$$

$$w_{ji}(k+1) = w_{ji}(k) + u_{ji}(k) \quad (7)$$

(6)は $m_{ji}(k)$ のみを含み、(7)は $w_{ji}(k)$ のみを含んでいるから、それぞれの式体系は分離して次のようにマトリックスで書くことができる。

$$y(k) = \Lambda(k)m(k) + e(k) \quad (8)$$

$$m(k+1) = m(k) + d(k) \quad (9)$$

$$q(k) = \Lambda(k)w(k) + v(k) \quad (10)$$

$$w(k+1) = w(k) + u(k) \quad (11)$$

ここで、 $\Lambda(k)$ は $r_i(k)$ と0からなる行列であり、 $e(k)$ 、 $d(k)$ 、 $v(k)$ 、 $u(k)$ はそれぞれ $e_j(k)$ 、 $d_j(k)$ 、 $v_j(k)$ 、 $u_j(k)$ からなるベクトルである。

いくつかの仮定のもとに(8),(9)で表されるシステムに対してカルマンフィルタ理論が適用でき、 $m(k)$ の推定値 $\hat{m}(k/k)$ が次のように与えられる。

$$\hat{m}(k/k) = \hat{m}(k-1/k-1) + K(k)[y(k) - \Lambda(k)\hat{m}(k-1/k-1)] \quad (12)$$

ここに $K(k)$ はカルマンゲインで

$$K(k) = S(k) \Lambda^T(k) [\Lambda(k)S(k) \Lambda^T(k) + R_2]^{-1} \quad (13)$$

$$S(k) = P(k-1) + R_1 \quad (14)$$

$$P(k) = S(k) - K(k) \Lambda(k) S(k) \quad (15)$$

$$S(1) = R_0 \quad (16)$$

$$\hat{m}(0/0) = \mu \quad (17)$$

ただし上式で R_1 、 R_2 、 R_0 はそれぞれ $d(k)$ 、 $e(k)$ 、 $m(1)$ の分散共分散行列、 μ は $m(1)$ の期待値、 $S(k)$ は $y(k)$ が得られる前の $m(k)$ の推定値 $\hat{m}(k/k-1)$ の推定誤差の分散共分散行列、 $P(k)$ は $y(k)$ が得られたあとの $m(k)$ の推定値 $\hat{m}(k/k)$ の推定誤差の分散共分散行列

である。

同様に(10)式、(11)式より

$$w(k/k) = w(k-1/k-1) + K(k)[y(k) - \Lambda(k)w(k-1/k-1)] \quad (18)$$

また分散共分散行列、期待値も(13)～(17)と同様になる。したがって、カテゴリ分光特性 $X_{ji}(k)$ が求まり、最終的には、 $X_{ji}(k)$ の収束値 B_{ji} が求まる。

＜2. 2＞ 土地被覆状態の推定

土地被覆状態を推定するが、計算の過程は同定とほぼ同じであるから主要式を示す。

同定により求まる $m_{ji}(k)$ 、 $w_{ji}(k)$ の収束値を m_{ji} 、 w_{ji} と書き、これをパラメータとするファジィ数を B_{ji} とし、これとテストエリア内の単位正方形 k の衛星データ $Y_j(k)$ を与える。

テストエリア内の単位正方形 k におけるカテゴリ i の面積割合を $z_i(k)$ とすると(3)式に対応する観測方程式は

$$Y_j(k) = \sum_{i=1}^M z_i(k) B_{ji} + E_j(k) \quad (19)$$

対称なファジィ代数演算ルールより

$$\text{中心} : y_j(k) = \sum_{i=1}^M z_i(k) m_{ji} + e_j(k) \quad (20)$$

$$\text{幅} : q_j(k) = \sum_{i=1}^M z_i(k) w_{ji} + v_j(k) \quad (21)$$

また $z_i(k)$ は割合であるから誤差項を形式的にとりて付加するものとする

$$1 = \sum_{i=1}^M z_i(k) + 0 \quad (22)$$

(19)式～(21)式を行列形式で表すと

$$y(k) = H z(k) + e(k) \quad (23)$$

を得る。 $y(k)$ は $y_j(k)$ 、 $q_j(k)$ 、1、また H は m_{ji} 、 w_{ji} 、1、また $e(k)$ は $e_j(k)$ 、 $v_j(k)$ 、0、そして $z(k)$ は面積割合 $z_i(k)$ からなる行列である。

また、テストエリア内の単位正方形は少しずつずらしながら推定していくものとする、相隣る単位正方形間では土地被覆状態は殆ど変わらないから状態方程式は

$$z(k+1) = z(k) + \varepsilon(k) \quad (24)$$

となる。 $e(k)$ 、 $\varepsilon(k)$ は誤差項
(23)式、(24)式から

$$z(k+1/k) = z(k/k) \quad (25)$$

$$z(k/k) = z(k/k-1) + K(k)[y(k) - H z(k/k-1)] \quad (26)$$

ここに $z(k/k-1)$ は観測量 $y(k)$ が得られる前の $z(k)$ の

推定値、 $z(k/k)$ は $y(k)$ が得られた後の $z(k)$ の推定値、また分散共分散行列、期待値も(13)～(17)と同様になる。以上より、単位正方形 k におけるカテゴリ i の面積割合が推定できる。

3. 適用結果

分光特性の同定において、トレーニングエリアにおける $200\text{m} \times 200\text{m}$ の単位正方形 k を9個合わせた区域を対象区域とし、その k に含まれるバンドデータの平均値を取るにより、三角形ファジィ数 $Y_j(k)$ を与え、その標準偏差をそのまま幅 $q_j(k)$ として与える。しかし、 $q_j(k)$ は、実際は試行錯誤で出来るだけ良い幅の値を求める必要がある。また同定の精度については、各カテゴリから抽出したバンドデータを真値として、分光特性を用いた土地被覆状態推定値の平方根二乗誤差 RMSE によって判定する。

表1は、土地被覆カテゴリを5項目で表した場合の精度を6つの誤差指標で比較したものである。表1より RMSE に関していえばカルマンフィルタ法、判別分析法、最尤法と比べても一番良い結果が得られている。

表1 5分類の様々な誤差指標による比較

誤差指標	ファジィ フィルタ 法	カルマン フィルタ 法	判別分 析法	最尤法
RME	2.094	1.612	1.891	1.996
WRE	1.124	1.050	1.861	1.940
MAE	0.099	0.118	0.147	0.154
RMSE	0.138	0.167	0.224	0.244
THEIL	0.776	0.771	0.684	0.657
RO	0.837	0.760	0.735	0.686

またランドサットデータの雑音混入の可能性を考え5つの場合を考えてデータに雑音を入れ信頼性をテストした。

結果については、用紙の都合上割愛させてもらい、講演時に発表する。

参考文献

- 1) 稲村実：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、電子情報学会誌 C、1987
- 2) I.Okutani and H.Wu: land-cover classification of remotely sensed data using Kalman Filtering 1997