

ファジィフィルタによる衛星データの土地被覆分類性能

信州大学工学部 正会員 奥谷 巖
 信州大学工学部 正会員 高瀬 達夫
 信州大学工学部 ○山本 真也

1. はじめに

リモートセンシングデータを用いた土地被覆状態の推定方法として何種類かの方法がすでに存在している。実用に供されている最もよく知られた方法は最尤法を用いた方法あるいは判別分析を用いた方法であるが、これらは複数のカテゴリが混在するピクセルに関して全く関係のないカテゴリに分類してしまう原理的欠陥を内包していた。そこで現在ではカテゴリの混在割合を推定対象とするカテゴリ分解原理が提案されている。本研究ではこれに加え、大気の状態や天候、センサーによる機械的誤差といった様々な要因によって輝度が変動することから、得られたデータを確定的にではなく曖昧に捉えることでよりよい値が得られるのではという推測のもとにファジィ数を導入した方法を考えるものである。

2. カテゴリ分光特性の同定

本研究では対象地域をトレーニングエリアとテストエリアに二分するとともに各エリアをメッシュに区分するが、トレーニングエリアにおいては各メッシュの土地被覆カテゴリ別面積割合が計測されているとし、それをもとにカテゴリ分光特性を同定するという方針を採る。いま、 $X_{ji}(k)$ をメッシュ k におけるカテゴリ i のバンド j の分光特性を表すファジィ数、 $Y_j(k)$ をメッシュ k に対応する区域のバンド j のリモートセンシングデータを表すファジィ数としたとき

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

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

$$(j=1, 2, \dots, N \quad i=1, 2, \dots, M)$$

とする。ここに、 N はバンド数、 M はカテゴリ数を表す。 $r_i(k)$ をメッシュ k におけるカテゴリ i の面積割合、 $E_j(k)$ を誤差項とすると

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

が成立する。 $E_j(k)$ は誤差項であり、中心 $e_j(k)$ と幅に対応する数値 $v_j(k)$ を有す。(3)式において $X_{ji}(k)$ をシステムの状態量、 $Y_j(k)$ を観測量とすれば、(3)式はファジィシステムの観測方程式を構成する。これに対して状態量 $X_{ji}(k)$ の空間遷移方程式は

$$X_{ji}(k+1) = X_{ji}(k) + D_{ji}(k) \quad (4)$$

として表すことができる。 $D_{ji}(k)$ は誤差項で、中心は $d_{ji}(k)$ 、幅に対応する量は $u_{ji}(k)$ 。(3) (4) 式に (1) (2) 式の関係 considering 中心に関して導くと

$$y_j(k) = \sum_{i=1}^M r_i(k) m_{ji}(k) + e_i(k) \quad (5)$$

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

$$(j=1, 2, \dots, N \quad i=1, 2, \dots, M)$$

簡単のために

$$y(k) = (y_1(k), y_2(k), \dots, y_N(k)) \quad (7)$$

$$m(k) = (m_{11}(k), m_{21}(k), \Lambda, m_{N1}(k), \Lambda, m_{1M}(k), m_{2M}(k), \Lambda, m_{NM}(k)) \quad (8)$$

のような N 次元及び NM 次元のベクトルを定義し、 $\Lambda(k)$ と $r_i(k)$ を適当に並べた $N \times M$ 行列、 $e(k)$ 、 $d(k)$ をそれぞれ (5) (6) 式の誤差項からなる N 次元ベクトル、 NM 次元ベクトルとすると (5) (6) 式は

$$y(k) = \Lambda(k)m(k) + e(k) \quad (9)$$

$$m(k+1) = m(k) + d(k) \quad (10)$$

となり、(9) (10) 式で表されるシステムにカルマンフィルタ理論を適用すると $m(k)$ の同定値は

$$\hat{m}(k|k) = \hat{m}(k|k-1) + K(k)[y(k) - \Lambda(k)\hat{m}(k|k-1)] \quad (11)$$

のように求められる。ここに $\hat{m}(k|k)$ 、 $\hat{m}(k|k-1)$ はそれぞれ観測量 $y(k)$ が得られた後と前の最適推定値であるが、(10)式より $\hat{m}(k|k-1)$ は $\hat{m}(k-1|k-1)$ に等しい。 $K(k)$ はカルマンゲインで以下のような一連

の漸化式により計算される。

$$K(k) = S(k)\Lambda^T(k) \left[\Lambda(k)S(k)\Lambda^T(k) + R_2 \right]^{-1} \quad (12)$$

$$S(k) = P(k-1) + R_1 \quad (13)$$

$$P(k) = S(k) - K(k)\Lambda(k)S(k) \quad (14)$$

$$S(1) = R_0 \quad (15)$$

$$\hat{m}(1|0) = \mu \quad (16)$$

ここに $S(k)$ 、 $P(k)$ はそれぞれ $m(k)$ の推定値を $\hat{m}(k|k-1)$ 、 $\hat{m}(k|k)$ としたときの推定誤差の分散・共分散行列、 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 $m(1)$ の期待値である。また、(3) (4) 式の幅に対応する項の関係式は

$$q_j(k) = \sum_{i=1}^M r_i(k)w_{ji}(k) + v_j(k) \quad (17)$$

$$w_{ji}(k) = w_{ji}(k) + u_{ji}(k) \quad (18)$$

$$(j=1,2,\Lambda,N \quad i=1,2,\Lambda,M)$$

(17)(18)式は(5)(6)式にそれぞれ対応しており

$$\hat{w}(k|k) = \hat{w}(k|k-1) + K(k)[q(k) - \Lambda(k)\hat{w}(k|k-1)] \quad (19)$$

のようにカテゴリ分光特性の幅が同定される。

3. 土地被覆状態の推定

カテゴリ分光特性の中心と幅の収束値を m_{ji} 、 w_{ji} として改めて表しファジィ数 H_{ji} を

$$H_{ji} = (m_{ji}, w_{ji})_L \quad (20)$$

として与える。(3)式に対応する観測方程式は

$$Y_j(k) = \sum_{i=1}^M z_i(k)H_{ji} + E_j(k) \quad (21)$$

したがって、(5) (6) 式に対応する観測方程式は

$$y_j(k) = \sum_{i=1}^M m_{ji}z_i(k) + e_j(k) \quad (22)$$

$$q_j(k) = \sum_{i=1}^M m_{ji}z_i(k) + v_j(k) \quad (23)$$

$Z_i(k)$ は面積割合であり、誤差項を 0 とすると

$$1 = Z_1(k) + Z_2(k) + \Lambda + Z_M(k) \quad (24)$$

(22) (23) (24) 式を行列形式で表すと

$$y(k) = H z(k) + e(k) \quad (25)$$

H は m_{ji} 、 w_{ji} 、1 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。と相隣る単位正方形間では土地被覆状態はほぼ変わらないので、状態方程式は

$$z(k+1) = z(k) + \varepsilon(k) \quad (26)$$

となり、 $e(k)$ 、 $\varepsilon(k)$ は誤差項である。ここで、(25) (26) 式にカルマンフィルタ理論を適用するとメッシュ k における土地被覆状態の推定値 $\hat{z}(k|k)$ は

$$\hat{z}(k|k) = \hat{z}(k|k-1) + K(k)[y(k) - H\hat{z}(k|k-1)] \quad (27)$$

と与えられる。(27) 式のカルマンゲイン $K(k)$ は同定の説明で示した (12) ~ (16) 式と同様な漸化式により求められる。いままでのカルマンフィルタによる方法では (22) (25) 式を観測方程式として $z_i(k)$ の推定するのに対し、ここで提案する方法ではメッシュ k におけるバンドデータをファジィ数として捉え、その幅に関する情報を観測量として扱う。このことから (24) 式を除いて観測量は倍増していることになり、カルマンフィルタによる方法に対し推定精度をより向上させる要素となる。

4. 実証的検討

本研究では神奈川県小田原市周辺の $4\text{km} \times 8\text{km}$ の長方形区域を対象として選び、この区域を南北 $2\text{km} \times 8\text{km}$ に 2 分し、トレーニングエリア、テストエリアとしてそれぞれカテゴリ分光特性の同定及び土地被覆状態の推定に供することとした。表 1 は土地被覆カテゴリを 5 分類、13 分類とした場合の推定精度を 6 つの誤差指標について比較整理したものである。本表より、13 分類の RME 以外は全ての誤差指標に対して最尤法と判別分析法を上回る結果が得られた。今後、中心と幅のパラメータの値を変えて推定を続けることでより良好な結果を得ると考えられる。

表1 各手法の推定精度比較

誤差指標	ファジィフィルタ		最尤法		判別分析法	
	5分類	13分類	5分類	13分類	5分類	13分類
RME	1.680	2.388	1.996	2.193	1.891	2.092
WRE	0.937	1.362	1.940	2.427	1.861	1.659
MAE	0.084	0.064	0.154	0.082	0.147	0.068
RMSE	0.132	0.110	0.244	0.172	0.224	0.123
η	0.810	0.686	0.657	0.555	0.684	0.626
ρ	0.896	0.795	0.686	0.595	0.735	0.643

5. おわりに

本研究はまだ十分な結果が得られてなく、結果は本稿についての説明とともに講演時に発表したい。