ファジイフィルタを用いたカテゴリ分光特性の同定と土地被覆状態の推定

信州大学工学部　正会員　奥谷　巌
信州大学工学部　正会員　高瀬　達夫
信州大学工学部　○　笹平　雄二

1．まえがき

近年の人間生活の多様化、複雑化に伴う都市開発による土地利用状況の変化は目を見張るものがある。土地利用状況を把握するためには、広い範囲での正確なデータの収集が必要となる。衛星データを用いることにより、広域のデータ収集が可能となり、地上からの調査が困難な地域においても容易にデータ収集ができる。これは、非常に有用な手段であり、これまでにも様々な研究開発が行われてきた。

ここでは、土地被覆状態の推定方法のさらなる精度向上をねらい、ファジイフィルタによる方法を提案したい。

2．従来の方法の検討

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。

稲村はピクセルの分光特性は各カテゴリの分光特性の合成であり、土地状態を求めるには、その逆に合成されたデータを分解すればよいというカテゴリ分解[1)]を提案した。これに基づきカルマンフィルタ理論も適用することができることも判明した。[2)]

3．カテゴリ分光特性の同定

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あいまいさに対処しきれない。これに対応するため、本研究ではカテゴリ分光特性に対称な三角形ファジイ数を用いる。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。

$X_{ji}(k)$：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 $x_{ji}(k)$ を表すファジイ数

$m_{ji}(k)$：三角形メンバシップ関数の中心

$w_{ji}(k)$：三角形メンバシップ関数の幅

とすると $X_{ji}(k)$ は

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

のようになる。

また、単位正方形ｋにおけるバンドデータもそのバラツキを考え、やはり対称な三角形ファジイ数 $Y_{ji}(k)$ で与えると

$Y_j(k)=(y_j(k),q_j(k))_L$

$y_j(k)$：三角形メンバシップ関数の中心

$q_j(k)$：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。観測方程式は

$$Y_j=\sum_{M}^{i=1} r_i(k)Xji(k)+Ej(k) \qquad (1)$$

となる。$E_j(k)$ は（1）式を等号で成立させる誤差項であり、必ずしもファジイ数ではない。

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ないことから

$$X(k+1)=X(k)+D(k) \qquad (2)$$

ここに $X(k)$ は $X_{ji}(k)$ を要素とするファジイベクトルである。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 $Dji(k)$ を要素とするベクトルである。

（2）式を要素で書くと

$$X_{ji}(k+1)=X_{ji}(k)+D_{ji}(k) \qquad (3)$$

となるが、いま $D_{ji}(k)=(d_{ji}(k),u_{ji}(k))_L$ のようにファジイ数と同じ形式で表しておくと、結局（3）式は

$$m_{ji}(k+1)=m_{ji}(k)+d_{ji}(k) \qquad (4)$$

$$w_{ji}(k+1)=w_{ji}(k)+u_{ji}(k) \qquad (5)$$

$m_{ji}(k)$ のみを含むものと $w_{ji}(k)$ のみを含むものを

分けて書くと

$$y(k)=\Lambda(k)m(k)+e(k) \quad (6)$$

$$m(k+1)=m(k)+d(k) \quad (7)$$

$$q(k)=\Lambda(k)w(k)+v(k) \quad (8)$$

$$w(k+1)=w(k)+u(k) \quad (9)$$

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。

（6）式、（7）式より

$$\hat{m}(k/k)=\hat{m}(k-1/k-1)+K(k)[y(k)-\Lambda(k)\hat{m}(k-1/k-1)] \quad (10)$$

$$K(k)=S(k)\Lambda^T(k)[\Lambda(k)S(k)\Lambda^T(k)+R_2]^{-1} \quad (11)$$

$$S(k)=P(k-1)+R_1 \quad (12)$$

$$P(k)=S(k)-K(k)\Lambda(k)S(k) \quad (13)$$

$$S(1)=R_0 \quad (14)$$

$$\hat{m}(0/0)=\mu \quad (15)$$

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。

同様にして（8）式、（9）式より

$$\hat{w}(k/k)=\hat{w}(k-1/k-1)+\bar{K}(k)[q(k)-\Lambda(k)\hat{w}(k-1/k-1)] \quad (16)$$

$$\bar{K}(k)=\bar{S}(k)\Lambda^T(k)[\Lambda(k)\bar{S}(k)\Lambda^T(k)+\bar{R}_2] \quad (17)$$

$$\bar{S}(k)=\bar{P}(k-1)+\bar{R}_1 \quad (18)$$

$$P(k)=S(k)-K(k)\Lambda(k)S(k) \quad (19)$$

$$\bar{S}(1)=\bar{R}_0 \quad (20)$$

$$\hat{w}(0/0)=\bar{\mu} \quad (21)$$

但し、$\bar{R}_1$、$\bar{R}_2$、$\bar{R}_0$ はそれぞれ $u(k)$、$v(k)$、$w(1)$の分散共分散、$\bar{\mu}$ は $w(1)$の期待値である。

以上から、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。

4．土地被覆状態の推定

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イ数を 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 $z_j(k)$とすると

（1）式に対応する観測方程式は

$$Y_j(k)=\sum_{M}^{i=1} z_i(k)B_{ji}+E_j(k) \quad (22)$$

対称なファジイ代数演算ルールより

$$\text{中心}：y_j(k)=\sum_{M}^{i=1} z_i(k)m_{ji}+e_j(k) \quad (23)$$

$$\text{幅}\quad：q_j(k)=\sum_{M}^{i=1} z_i(k)w_{ji}+v_j(k) \quad (24)$$

また $z_i(k)$は割合であるから誤差項を形式的に 0 として付加するものとすると

$$1=\sum_{M}^{i=1} z_i(k)+0 \quad (25)$$

（23）式～（25）式を行列形式で表すと

$$\underline{y}(k)=Hz(k)+\underline{e}(k) \quad (26)$$

を得る。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殆ど変わらないから状態方程式は

$$z(k+1)=z(k)+\varepsilon(k) \quad (27)$$

となる。$e(k)$、$\varepsilon(k)$は誤差項

（23）式、（24）式から

$$\hat{z}(k+1/k)=\hat{z}(k/k) \quad (28)$$

$$\hat{z}(k/k)=\hat{z}(k/k-1)+\underline{K}(k)[\underline{y}(k)-H\hat{z}(k/k-1)] \quad (29)$$

$$\underline{K}(k)=\underline{S}(k)H^T[H\underline{S}(k)H^T+R_2]^{-1} \quad (30)$$

$$\underline{S}(k)=\underline{P}(k-1)+\underline{R}_1 \quad (31)$$

$$\underline{P}(k)=\underline{S}(k)-\underline{K}(k)H\underline{S}(k) \quad (32)$$

$$\hat{z}(1/0)=z_0 \quad (33)$$

$$\underline{S}(1)=\underline{R}_0 \quad (34)$$

ここに $\hat{z}(k/k-1)$は観測量 $y(k)$が得られる前の $z(k)$の推定値、$\hat{z}(k/k)$は $y(k)$が得られた後の $z(k)$の推定値、$\underline{R}_1$、$\underline{R}_2$、$\underline{R}_0$、$\underline{S}(k)$、$\underline{P}(k)$はそれぞれ $\varepsilon(k)$、$e(k)$、$z(1)$、$z(k)-\hat{z}(k/k-1)$、$\hat{z}(k)-z(k/k)$の分散共分散行列、z_0は $z(1)$の期待値である。

以上より、単位正方形 k におけるカテゴリ I の面積割合 $z_I(k)$を求める。

5．おわりに

本研究はまだ充分な結果が得られておらず、結果は当日、報告する予定である。

今後は、このファジイフィルタ法のカルマンフィルタ法に対する理論的優位性について検討してゆきたい。

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 andH.Wu:Land-cover classification of remotely sensed data using Kalman filtering,1997