IV－45

ファジィ最小二乗法による衛星データの土地被覆分類とその有効性の検証

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　○小林慶昭

1. まえがき

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既に存在している。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線形判別関数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は、全く関係のないカテゴリに分類してしまうとい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捉えるのではなく、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ている。

ファジィ線形システムによる推定方法として、線形計画法を応用した方法、いわゆるファジィ線形回帰分析法があげられるが、本研究ではファジィ数間の距離は中心と幅それぞれの差の二乗和の平方根をとるという独自の定義を用いたファジィ最小二乗法を提案し、他の手法との中で実証的にその有効性を検討するが、今回は特に入力データにノイズが入った場合の頑健性についてもテストを実行する。

2. ファジイ最小二乗法による土地被覆分類

<2.1> 分光特性の同定

本研究ではまずカテゴリ分光特性をある幅を持った対称な三角形ファジィ数で表現すること採用している。すなわち、いまX_{ji}をカテゴリｉにおけるリモートセンシングデータのバンドｊの値を表すファジィ数とし、これを

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

m_{ji}：中心、　w_{ji}：X_{ji}の幅

のように表現する。

このように、カテゴリｉの分光特性をファジィ数で与えると、そのメンバシップ関数を規定するためには、中心m_{ji}と幅w_{ji}を決定すればよいことがわかる。

用いるデータはリモートセンシングデータと複数の小区域（後で示す計算例では200m×200mの正方形区域）におけるカテゴリ混在比のデータである。後者のデータは航空写真や現地踏査等により予め与えられるものとしている。

いま、$\hat{Y}_j(k)$を小区域ｋにおけるバンドｊの値を表す推定ファジィ数とすると、それはX_{ji}の線形結合として次のように与えられる。

$$\hat{Y}_j(k) = r_1(k)X_{j1} + \cdots + r_M(k)X_{jM} \tag{2}$$

$$= (r(k)^T m_j, r(k)^T w_j)_L \tag{3}$$

ここに、$r_i(k)$は小区域ｋにおけるカテゴリｉの面積割合であり、Ｍはカテゴリ数である。ただし、

$$m_j = (m_{1M}, m_{2M}, \cdots, m_{jM})^T$$

$$w_j = (w_{1M}, w_{2M}, \cdots, w_{jM})^T$$

またトレーニングエリア内の単位正方形における衛星データはファジィ数$Y_j(k)$で与えられるものとし、

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

（$q_j(k)$は標準偏差×αなどで与えるとする）

と表される。

小区域ｋにおける輝度の観測値と推定値とのずれの和を最小にすることを、幅と中心のそれぞれずれの二乗和を最小にすることとしたファジィ最小二乗法を考える。

小区域ｋにおける推定ファジィバンドデータ$\hat{Y}_j(k)$が観測データ$Y_j(k)$を最もうまく説明するためには、中心及び幅の誤差の二乗和を最小にするようにm_j, w_jを定めればよいという考え方を採る。

すなわち次のような数式展開がなされる。

$$F = \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{N}\left[g_1\left\{y_j(k) - r(k)^T m_j\right\}^2 + g_2\left\{q_j(k) - r(k)^T w_j\right\}^2\right]$$

$$\longrightarrow \min \quad (4)$$

$$m \geq 0, w \geq 0 \quad k = 1, \cdots K$$

ここに g_1 と g_2 はそれぞれ中心と幅の誤差に与える重み係数で $g_1 + g_2 = 1$ とする。(4)式で表される問題は各バンドごとに分割できることから

$$F = \sum_{k=1}^{K} \left[g_1 \left\{ y_j(k) - r(k)^T m_j \right\}^2 + g_2 \left\{ q_j(k) - r(k)^T w_j \right\}^2 \right]$$

$$\longrightarrow \min \quad (5)$$

$$m \geq 0, w \geq 0 \quad k = 1, \cdots K$$

となる。またこの問題は中心 m と幅 w によって完全に分離されているから、結局

$$\min_{m} \sum_{k=1}^{K} \left\{ y_j(k) - r(k)^T m_j \right\}^2 \quad (6)$$

$$\min_{w} \sum_{k=1}^{K} \left\{ q_j(k) - r(k)^T w_j \right\}^2 \quad (7)$$

なる二つの問題を別々に解くことと等しくなる。

<2.2> 土地被覆状態の推定

前項の(2)(3)式に対応する式は

$$\hat{Y}_j(k) = z_1(k) B_{j1} + \cdots + z_M(k) B_{jM} \quad (8)$$

$$= (z(k)^T m_j, z(k)^T w_j) \quad (9)$$

ここに $z(k) = (z_1(k), z_2(k), \cdots, z_M(k))^T$

したがって $z(k)$ を求めるファジィ最小二乗法は前節と同様な考え方に従い、かつ $z_i(k)$ が小区域kの面積割合を示す量であることを考慮すると

$$F = \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{N} \left[g_1 \left\{ y_j(k) - z(k)^T m_j \right\}^2 + g_2 \left\{ q_j(k) - z(k)^T w_j \right\}^2 \right]$$

$$\longrightarrow \min \quad (10)$$

$$z_1(k) + z_2(k) + \cdots + z_M(k) = 1$$

$$z_i(k) \geq 0 \quad (i = 1, 2, \cdots, M, \quad k = 1, 2, \cdots, K)$$

なる問題を解けばよいことになる。なお、この問題は明らかに小区域kにより分割でき、小問題ごとに解くことができる。

3. 実証的検証

本研究では神奈川県小田原市周辺の 4km×8km の長方形区域を対象区域として選んだ。さらに対象区域を南北 2km×8km の区域に2分し、トレーニングエリア、テストエリアとして、それぞれカテゴリー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。

対象地域は200m×200mのメッシュ（小区域）に区分し、その基本メッシュに対する土地被覆カテゴリの面積割合の真値を、国土地理院発行の 1/25,000 の土地利用図及び同時期に撮影した航空写真を用いて求めた。

表1は土地被覆カテゴリーを5項目、13項目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、従来法及びファジィ最小二乗法ともに、RME 以外のすべての誤差指標に関して判別分析法及び最尤法を凌駕しており、またファジィ最小二乗法は5項目、13項目ともにすべての誤差指標に関して従来法を上回っていることがわかる。また従来法は13項目になっても推定精度がほとんどかわらなかったのに対し、ファジィ最小二乗法はむしろ精度が向上するような結果となった。

表2はファジィ最小二乗法における重み係数を変動させた結果であるが、これより中心と幅の重みを等しくしたときに最良の結果がえられた。

表1　各手法の推定精度比較

誤差指標	従来のファジイ回帰分析法		ファジイ最小二乗法		判別分析法	最尤法
	5分類	13分類	5分類	13分類	5分類	5分類
RME	1.4450	2.9630	1.2570	2.6810	0.7260	0.7373
WRE	1.0310	2.0050	0.8540	1.9240	0.9629	1.1628
MAE	0.0950	0.0890	0.0890	0.0680	0.2120	0.2663
RMSE	0.1489	0.1461	0.1296	0.1133	0.1831	0.2119
η	0.7740	0.5070	0.7970	0.6240	0.7554	0.7208
ρ	0.8346	0.3777	0.8655	0.6266	0.8387	0.7941

表2　重みによるファジィ最小二乗法の推定結果

	5分類			13分類		
g_1:g_2 / 誤差指標	0.9:0.1	0.5:0.5	0.1:0.9	0.9:0.1	0.5:0.5	0.1:0.9
RME	1.6420	1.2570	1.8010	2.6880	2.6810	2.8810
WRE	1.0430	0.8540	1.2010	1.8950	1.9240	2.0920
MAE	0.1010	0.0890	0.1160	0.0690	0.0680	0.0730
RMSE	0.1419	0.1296	0.1727	0.1143	0.1133	0.1292
η	0.7750	0.7970	0.7270	0.6230	0.6240	0.5670
ρ	0.8340	0.8655	0.7547	0.6258	0.6266	0.5022

4. おわりに

紙面の都合上、ノイズ実験について扱えなかったため、本稿についての詳しい説明とともに講演時に発表したい。