

ファジィ推論による衛星データの土地被覆分類とその頑健性評価

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 ○大井 圭二

1. はじめに

リモートセンシングデータを利用して土地被覆状態を推定する従来の方法として判別分析法や最尤推定法がある。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、距離概念を導入したファジィ推論を用い、入力データの前件部を(1)カテゴリ分光特性とする場合、(2)トレーニングエリアのメッシュ輝度とする場合の2つの方法で推定を行い、その結果を従来法と比較する。また、ランドサットデータには種々の要因に基づく雑音混入の可能性がある。こうした雑音混入により推定精度が急激に劣化するようでは、その土地被覆分類手法の信頼性が問われることになる。そこで、入力データに人為的に雑音を混入し、その頑健性について従来法と比較することによってこの方法を評価する。

2. 推定方法

2. 1. 距離概念を用いた2つのファジィ数の類似度

一般に、2つのファジィ数 A_1, A_2

が与えられ

$$A_1 = (\alpha_1, c_1)_L$$

$$A_2 = (\alpha_2, c_2)_L$$

のように表されるものとしたとき、 A_1, A_2 の距離 d を

$$d = \sqrt{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + (c_1 - c_2)^2}$$

で定義する。 $g = d / (d_{\max} - d)$ と置いたとき A_1 と A_2 の類似度 f は

$$f = \begin{cases} 1/(1 + \phi g) & (\phi > 0 : \text{定数}) \\ e^{-\theta g} & (\theta > 0 : \text{定数}) \\ \text{その他}, (1-d) / d_{\max}, 2/(1 + e^{\eta g}), \dots \end{cases}$$

2.2 カテゴリ分光特性を前件部とする場合

$Y_j(k)$: テストエリアのメッシュ k におけるバンド j の平均値を $y_j(k)$ 、分散を $v_j(k)$ 、標準偏差 $\sqrt{v_j(k)}$ 、 β_2 を定数とするととき中心 $y_j(k)$ 、幅 $\beta_2 \sqrt{v_j(k)}$ で表される三角形ファジィ数

B_{ji} : テストエリアのメッシュ k におけるカテゴリ i のバンド j の平均値を h_{ji} 、分散を S_{ji} 、標準偏差 $\sqrt{S_{ji}}$ 、 β_1 を定数とするととき中心 h_{ji} 、幅 $\beta_1 \sqrt{S_{ji}}$ で表される三角形ファジィ数

ランドサットデータの土地被覆分類については、まず $Y_j(k)$ と B_{ji} の距離が

$$d_{ji}(k) = \sqrt{(y_j(k) - h_{ji})^2 + (q_j(k) - w_{ji})^2}$$

として表されるから

$$d_i(k) = \max_j d_{ji}(k)$$

または、 $d_i(k) = 1 / N \sum_{j=1}^N d_{ji}(k)$

によってメッシュ k のランドサットデータとカテゴリ i の間の代表距離を定義し、 $g_i(k) = d_i(k) / (d_{\max} - d_i(k))$ とおけば、前件部 i に対する入力 $Y_j(k)$ ($i=1 \sim N$) の適合度は、 $f_i(k) = 1 / (1 + \phi g_i(k))$ 、

又は、 $f_i(k) = e^{-\theta g_i(k)}$ 、

$f_i(k) = 1 - (d_i(k) / d_{\max})$ 、 $f_i(k) = 2 / (1 + e^{\eta g_i(k)})$ などとして求められる。

これより、 $\hat{Z}_i(k) = f_i(k) / \sum_{i=1}^M f_i(k)$ のようにカテゴリ i

の面積割合を推定できる。なお、後件部は面積割合が 1.0 のところのみで値 1.0 をとるシングルトンである。

2. 3 トレーニングエリアのメッシュ輝度を前件部とする場合

・(2)の方法について、与えられるものとして、

$$A_j(l) = (\alpha_j(l), w_j(l))_L \quad (j=1 \sim N)$$

$A_j(l)$:トレーニングエリアのメッシュ l におけるバンド j の輝度を表すファジィ数、 $\alpha_j(l)$:カテゴリ i におけるバンド j の平均値、 $w_j(l)$:カテゴリ i におけるバンド j の分散

・ $r_i(l)$:トレーニングエリアのメッシュ l におけるカテゴリ i の面積割合 ($i=1\sim M$)

・推定はメッシュ k のランドサットデータをファジィ数で表し、それを前件部に入力することによって行う。

$$Y_j(k) = (y_j(k), q_j(k))_L, \quad Y_j(k): \text{テストエリアのメッシュ}k\text{におけるバンド}j\text{の輝度を表すファジィ数、}$$

$y_j(k)$:三角形ファジィ数の中心、 $q_j(k)$:三角形ファジィ数の幅

これらによりテストエリアのメッシュ k における土地被覆カ

テゴリ i の面積割合の推定値 $\hat{Z}_i(k)$ を求める。

・ファジィ数間の距離概念を用いる方法

$Y_j(k)$ と $A_j(l)$ の距離 $d_{k,l}$ は

$$d_{k,l} = \sqrt{(y_j(k) - \alpha_j(l))^2 + (q_j(k) - w_j(l))^2}$$

で与えられるから、テストエリアのメッシュ k の輝度とトレーニングエリアのメッシュ l の輝度の代表距離 $d_{k,l}$ を

$$d_{k,l} = \max_j d_j(k, l) \quad \text{又は} \quad d_{k,l} = 1 / N \sum_{j=1}^N d_j(k, l)$$

として定義し、 $g_{k,l} = d_{k,l} / (d_{\max} - d_{k,l})$ とおけば、前件

部 1 に対する $Y_j(k)$ ($j=1\sim N$)の適合度は、

$$f_{k,l} = 1 / (1 + \phi g_{k,l}), \text{又は} f_{k,l} = e^{-\phi g_{k,l}}, \text{or}$$

$$f_{k,l} = 1 - (d_{k,l} / d_{\max}), \text{or} f_{k,l} = 2 / (1 + e^{\phi g_{k,l}})$$

などとして与えられる。そして、

$$\hat{Z}_i(k) = \sum_{l=1}^L f_{k,l} r_i(l) / \sum_{l=1}^L f_{k,l}$$

として、推定する。なお、後件部は面積割合が 1.0 のところのみで値 1.0 をとるシングルトンである。

3. 雑音に対する頑健性

ランドサットデータには種々の要因に基づく雑音混入の可能性がある。こうした雑音混入により推定精度が急激に劣化するようでは、その土地被覆分類手法の信頼性が問われることになる。そこで、次のような5ケースに分けて入力データに人為的に雑音を混入し、その頑健性についてテストしてみた。なお、雑音の発生方法は、

いま入力の前データを X 、 ε を0から1の範囲の一様乱数としたとき新たな入力データ X^* を

$$X^* = (1 \pm \varepsilon)X$$

として与えるという方法をとる。また、たとえば、 ε を0.1以下の乱数とする場合を10%のずれがある場合などと呼ぶことにする。なお、 $n\%$ のずれがある場合のパワー信号対雑音比 S/N は $30,000/n^2$ となる。

ケース1については、乱数発生回数が多いことから1回のみテストを行うが、他の4ケースについては20回のテスト(1回ごとに必要に応じ符号や ε の大きさを変化)を実行し、結果は全分類項目、全テストにわたる平均的なRMSEにより評価する。なお、比較のために、従来法によっても同一のテストを行う。

4. 結果の比較

表1は土地被覆カテゴリを5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。表1を見た限りでは、提案したファジィ推論と従来のファジィ推論の優劣は顕著に示されなかった。

5. データについて

本研究では、対象地域小田原周辺の $4\text{km} \times 8\text{km}$ の矩形地域で、対象地域を南北に2分し北側の $2\text{km} \times 8\text{km}$ の区域をトレーニングエリア、南側の同サイズの区域をテストエリアに位置付けた。

カテゴリとしては以下に示す5分類と13分類とした。

(5分類)水域・耕作地・果樹園・森林・密集地

(13分類)水域・水田・畑・果樹園・森林・草地・裸地・砂地・舗装地・鉄道路・鋼構造物・コンクリート建物・瓦屋根建物

表1 種々の誤差指標に基づく提案法と従来法の比較

誤差指標	ファジィ推論(1)		ファジィ推論(2)		従来法(1)	従来法(2)
	5分類	13分類	5分類	13分類	5分類	5分類
RME	2.9270	2.6920	1.0730	1.8660	3.3310	0.3780
WFE	1.8120	1.4720	0.6450	1.1030	1.8190	0.3530
MAE	0.1400	0.0740	0.0540	0.0430	0.1660	0.0480
RMSE	0.1960	0.1210	0.0865	0.0748	0.2154	0.0777
η	0.6660	0.5510	0.8630	0.0747	0.6330	0.8820
ρ	0.6350	0.5040	0.9400	0.8460	0.5440	0.9570

6. 終わりに

本研究では、RMSE による提案法と従来法との比較において提案法の優れた点を見出すことが出来なかった。しかし、雑音に対する頑健性については、本稿についての説明と共に講演時に発表したい。