

岡山大学 正 森 忠次
岡山大学 ○正 服部 進

1. はじめに

実体空中写真から、画像相関法で自動図化を行う場合には、最適なパラメータを設定するために画像の雑音量を知る必要がある。実体画像の雑音量の計測には、Gennery¹⁾, Ehlers²⁾ 等の研究がある。とくに Gennery は、Bayes の定理から、探索窓内の各位置の信頼度を確率的に導き、マッチングの最確値を求めると同時に、雑音分散を推定した。ここでは、これをさらに数学的に展開し、最小2乗法におけるロバスト推定法の考えと関連づけて述べる。³⁾

2. 雑音量の推定法

典型的な画像相関法は、左画像上の点 P_1 の対応点 P_2 を右画像上に探索するのに、図-1 に示すように、 P_1 を中心とする相関窓と、 P_2 の予測点を中心とする探索窓とをとり、前者を後者の中で動かして、最大相関点を捜すものである。図-1 の座標系 x, y は、左右画像に共通の epipolar 座標系であるとする。したがって対応点の y -座標は一致する。 P_1 , P_2 は、正確な対応点であり、かつ原点に一致する。相関窓は $L \times L$ の大きさで、探索範囲は $\pm T$ である。画像点 (x, y) の画像濃度値を左右それぞれ、 $D_1(x, y)$, $D_2(x, y)$ であらわし、その構造を次のように仮定する。

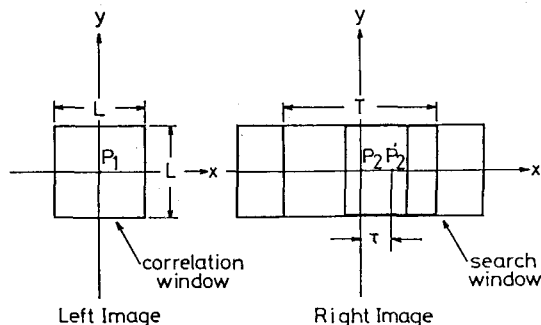


Fig.1 Schematic of Image Correlation

$$D_1(x, y) = b_1 + D(x, y) + v_1(x, y), \quad D_2(x, y) = b_2 + D(x, y) + v_2(x, y) \quad (1)$$

b_1, b_2 は正定数のバイアス、 $D(x, y)$ は、両画像に共通の画像関数、 $v_1(x, y), v_2(x, y)$ は、正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従う、互いに独立な白色雑音とする。

マッチングの標準として、相関係数 $\rho(\tau)$ ($\tau = -T, -T+1, \dots, T-1, T$) を考え、その最大点 $\tau = \tau_m$ を正しい対応点であるとして、このとき、次式の χ^2

$$\begin{aligned} \chi^2 &= S^2(\tau_m) / 2\sigma^2, \quad S^2(\tau_m) = \sum_{x=L/2}^{L/2} \sum_{y=L/2}^{L/2} \left((D_1(x, y) - \bar{D}_1) - (D_2(x + \tau_m, y) - \bar{D}_2(\tau_m)) \right)^2 \quad (2) \\ &= \sum_x \sum_y \left((v_1(x, y) - \frac{1}{L^2} \sum_x \sum_y v_1(x', y')) - (v_2(x + \tau_m, y) - \frac{1}{L^2} \sum_x \sum_y v_2(x' + \tau_m, y')) \right)^2 \\ \bar{D}_1 &= \frac{1}{L^2} \sum_x \sum_y D_1(x, y), \quad \bar{D}_2(\tau_m) = \frac{1}{L^2} \sum_x \sum_y D_2(x + \tau_m, y) \end{aligned}$$

は、自由度 $N = L^2 - 1$ の χ^2 -分布に従う。このとき、互いに重ならない、 Q 個の探索窓からなる相関窓と、探索窓の粗から得られた $S^2(\tau_m)$ (これを S^2_j , $j = 1, 2, \dots, Q$ で表わす) が、たとえ最尤推定法を使えば σ^2 の

最適値 $\hat{\sigma}^2$ は,

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{2NQ} \sum_{j=1}^Q S_j^2 \quad (3)$$

から求められる。しかし、明らかに相関の最大値が正しい対応点であるとは限らず、とくに雑音が卓越しているところでは $\hat{\sigma}^2$ は過小評価される。一方、過誤を含んだ観測データから、母数を推定する方法にロバスト推定法がある。これは残差の大きい観測値には、小さな重みを与えて、信頼性の高いデータのみを利用するものであるが、その重みのつけ方に議論が分かれる。今の場合、Bayes の定理を使えば、これを理論的に与えることができる。 $\tau = \tau_m$ で $S^2(\tau_m)$ を得たとき、 τ_m が正しい対応点 $\tau_m = 0$ である確率は、

$$P(\tau_m = 0 | S^2(\tau_m)) = \frac{P(S^2(\tau_m), \tau_m = 0) P(\tau_m = 0)}{P(S^2(\tau_m))} \quad (4)$$

先験確率 $P(\tau_m = 0)$ は探索範囲内で一定と仮定する。 $P(S^2(\tau_m))$ は、実験的に求めることができ、さらに上記の議論から

$$P(S^2(\tau_m) | \tau_m = 0) = \frac{1}{2^{\frac{N}{2}} \Gamma(\frac{N}{2})} \cdot e^{-\frac{S^2(\tau_m)}{4\sigma^2}} \cdot \left(\frac{S^2(\tau_m)}{2\sigma^2} \right)^{\frac{N-2}{2}} \cdot \frac{1}{2\sigma^2} \quad (5)$$

であるから、式(4)の左辺は、計算可能である。ロバスト推定による $\hat{\sigma}^2$ の最小2乗解は、

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{2L^2 Q} \sum_{j=1}^Q S_j^2 P_j \quad (6)$$

で与えられる。ここに P_j は、各探索点について得られた式(4)の値である。 P_j は $\hat{\sigma}^2$ の関数であるから $\hat{\sigma}^2$ を求めるには、繰返し計算が必要である。

[実験例]

1/25,000 空中写真画像の山地部分から求めた $S^2(\tau_m)$ のヒストグラムを図-2に示す。これより式(3)から、 $\hat{\sigma}^2 = 26.0$ を得る。一方式(4)を満足する $\hat{\sigma}^2$ は、 $\hat{\sigma}^2 = 28.5$ であり、式(3)より推定値は大きくなる。このとき $Q = 2.4$ 、 $L = 9$ とした。実験の詳細は、講演時に示す。

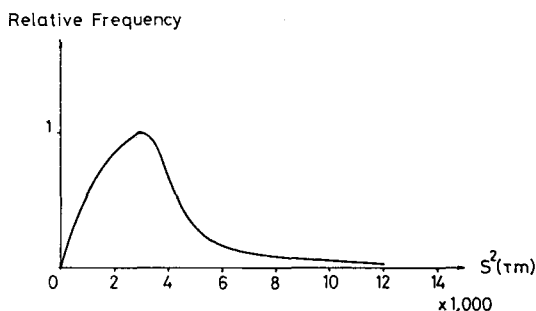


Fig. 2 Histogram of $S^2(\tau_m)$

参考文献

1. Gennerly, D. B.; modelling the Environment of an Exploring Vehicle by means of Stereo Vision, Stanford Artificial Intelligence Laboratory, Memo AIM-339, 1980
2. Ehlers, M; Increase in Correlation Accuracy of Remote Sensing Imagery by Digital Filters, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 48, No.3, March 1982, pp. 415-420
3. 森 忠次, 服部 進, 内田 修; 実体画像の雑音推定, 日本写真測量学会, 昭和57年度秋期学術講演発表論文集, 1982, 10, pp. 25-28