



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	スペックル低減のためのコントラストを用いたフィルタ
Author(s)	三田村, 智行; 北島, 秀夫; 白川, 智昭 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 164, 49-54
Issue Date	1993-05-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42361
Type	departmental bulletin paper
File Information	164_49-54.pdf



スペckル低減のためのコントラストを用いたフィルタ

三田村 智 行 北 島 秀 夫
白 川 智 昭 小 川 吉 彦

(平成 4 年 12 月 25 日受理)

A Speckle Reduction Filter Using Contrast Information

Tomoyuki MITAMURA, Hideo KITAJIMA, Tomoaki SHIRAKAWA, and Yoshihiko OGAWA
(Received December 25, 1992)

Abstract

This paper proposes an effective reduction of speckle noise in reconstructed synthetic aperture radar images.

The proposed method uses contrast information in the reconstruction and avoids serious blurring typically accompanying images obtained through the conventional multi-look operation.

Computer simulation resulting in demonstrating the validity of the method are included.

1. ま え が き

合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) はマイクロ波を用いたイメージングレーダである。このレーダは、昼夜および天候を問わず観測可能であること、高い分解能で観測ができること、測定対象について光学センサとは異なる情報を得ることができることなどの特徴があり、地表の観測、資源探査、海洋観測さらには惑星探査などの広い分野での利用が期待されている。しかし、合成開口レーダはコヒーレントなシステムであるために特有のごま塩状のスペckルノイズが生じ、再生像の品質を著しく劣化させてしまう欠点をもっている。従来、このスペckルノイズを低減する方法としてはマルチルック処理¹⁾が行われてきた。ところが、この方法によると分解能の低下を避けることができず、レーダが本来もつ性能を十分引き出すことができない。そこで、分解能を犠牲にせずにスペckルノイズを低減する新しい方法の開発が待たれる。本稿では、コントラストを用いて目標の空間的特徴をできるだけ損なわないでスペckルノイズの低減を図る方法を提案し、その効果について報告する。

2. スペckルによる劣化画像のモデル化

2-1 スペckルノイズの性質

スペckルはコヒーレントなシステムにおいて観測される現象であり、レーザー光を用いたシステムなどでよくみられる。このため、光学の分野でその性質などについて詳しく解析、検討が

なされてきた。スペックルは散乱現象において観測され、散乱体の粗さが波長に比べて無視できない場合に生じる。つまり、散乱体上の各点からの散乱波が散乱体の粗さのために異なる位相をもち、観測点ではこれらが干渉することによりごま塩状の模様のスペックルが生じる。散乱体の凹凸が波長に比べて十分大きいときにはスペックルが次のような性質をもつことが明らかになっている²⁾。

1. 複素振幅の実部、虚部は同一の零平均ガウス分布に従い、互いに独立である。
2. スペックルの強度は指数分布、位相は一様分布に従う。
3. スペックルの強度と位相は独立である。

スペックルによって劣化した観測画像は原画像とスペックルの積であると考えられる。従って、観測画像を $r(x,y)$ 、原画像を $s(x,y)$ 、スペックルを $n(x,y)$ とすれば、

$$r(x,y) = s(x,y)n(x,y) \quad (1)$$

となる。スペックルは原画像の輝度値とは無関係であるから $s(x,y)$ と $n(x,y)$ は独立であると考えられる。

2-2 コントラスト

スペックルの程度を評価する量としてはコントラスト C がよく用いられる。これはスペックル強度の平均 $E\{I\}$ と標準偏差 σ_I を用いて次式のように定義される。

$$C = \frac{\sigma_I}{E\{I\}} \quad (2)$$

コントラストはスペックル強度の平均値に対するゆらぎの割合を表す量であり、スペックルが発達しているほどコントラストが大きくなり、スペックルが生じていないときはコントラストは0である。前節で述べた仮定が満たされる場合、指数分布する確立変数の平均と標準偏差が等しいことからコントラスト C は1である。このコントラストは一般の画像についても考えることができる。この場合、コントラストの大きな画像は複雑な画像、コントラストの小さな画像は平坦な画像であると考えることができ、画像の平坦さを表す尺度として用いることができる。

3. コントラストを用いたスペックルの低減

3-1 原画像のコントラストの推定

スペックルによって劣化した観測画像から原画像のコントラストを推定することを考える。観測画像 $r(x,y)$ が(1)式に従いスペックルと原画像が統計的に独立であることを考慮すると、観測画像の平均と分散は次式のようになる。

$$\begin{aligned} \eta_r &= E\{s(x,y)n(x,y)\} \\ &= \eta_s \eta_n \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sigma_r^2 &= E\{(s(x,y)n(x,y))^2\} - (\eta_s \eta_n)^2 \\ &= E\{(s(x,y)^2)E\{(n(x,y))^2\} - (\eta_s \eta_n)^2\} \\ &= (\sigma_s^2 + \eta_s^2)(\sigma_n^2 + \eta_n^2) - (\eta_s \eta_n)^2 \\ &= \sigma_s^2 \sigma_n^2 + \sigma_s^2 \eta_n^2 + \sigma_n^2 \eta_s^2 \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、原画像の平均、分散を η_s 、 σ_s^2 、スペックルの平均、分散を η_n 、 σ_n^2 とした。上式を用いて観測画像のコントラストを求めると、

$$\begin{aligned}
C_r &= \frac{\sigma_r}{\eta_r} \\
&= \frac{\sqrt{\sigma_s^2 \sigma_n^2 + \sigma_s^2 \eta_n^2 + \sigma_n^2 \eta_s^2}}{\eta_s \eta_n} \\
&= \sqrt{C_s^2 C_n^2 + C_s^2 + C_n^2}
\end{aligned} \tag{5}$$

となる。このことより、観測画像のコントラストとスペckルのコントラストを用いて原画像のコントラストを求めることができ、次のようになる。

$$C_s = \sqrt{\frac{C_r^2 - C_n^2}{1 + C_n^2}} \tag{6}$$

従って、スペckルのコントラストが既知であれば観測画像から求めたコントラストを用いて原画像のコントラストを求めることができる。

3-2 コントラストを用いたフィルタリング

前述したように、コントラストは画像の平坦さを表す量であると考えられる。そこで、観測画像に処理を施してコントラストを原画像のコントラストの推定値に一致させることでスペckルによるゆらぎを抑えることを考える。換言すると、スペckルを抑えるための平滑化処理の程度を推定された原画像のコントラストを用いて決定しようということである。この処理は、観測画像の平均値を変化させずに標準偏差を C_s/C_r 倍することによって実現される。従って、原画像は

$$\hat{s}(x, y) = \frac{C_s}{C_r} \{r(x, y) - \eta_r\} + \eta_r \tag{7}$$

と推定できる。これに(6)式を代入すると

$$\hat{s}(x, y) = \frac{1}{C_r} \sqrt{\frac{C_r^2 - C_n^2}{1 + C_n^2}} \{r(x, y) - \eta_r\} + \eta_r \tag{8}$$

が得られる。

3-3 局所的フィルタリング

画像の特徴（エッジなど）をできるだけ損なわないような処理を行うためには、画像全体に一樣にフィルタをかけるのではなく局所的なフィルタリングを行う必要がある。そこで、観測画像にウィンドウをかけ、そのウィンドウ内のコントラストを用いてウィンドウ中央のピクセルを(8)式により推定する。この際、スペckルのコントラストをあらかじめフィルタに与える必要がある。スペckルは指数分布に従うことからサンプル数が十分に多いときはコントラストは1になるが、比較的小さなウィンドウをかけてコントラストを求める場合にはサンプル数が少ないためにコントラストが1にはならない。このため、推定に用いるコントラストは1ではなくウィンドウ内のサンプル数のスペckルによるコントラストの平均値を用いる必要がある。この値は、 3×3 のウィンドウ（9サンプル）のときで0.74、 5×5 のウィンドウ（25サンプル）のときで0.88である。ウィンドウの大きさが大きいほどコントラストの精度が良くなるが観測画像に現れる細部を保存する上では不利になる可能性がある。

4. 計算機シミュレーション

4-1 シミュレーションの方法

ここで提案した方法の有効性を評価するためにシミュレーションを行った。いくつかの画像データに計算機によって発生させたスペックルを重畳し、擬似的に観測画像を作成する。この観測画像にフィルタリングを施してスペックルの低減を試みた。ウィンドウの大きさは 3×3 ピクセルと 5×5 ピクセルについて実験した。また、文献³⁾の方法についても実験し比較を行った。スペックル低減の効果を評価するための量として、ここでは原画像とフィルタリング後の画像の相関係数およびフィルタリング後の画像に残る積ノイズのコントラストを用いた。原画像としては、標準データベース SIDBA に収められている画像 AERIAL、カラーの AERIAL の輝度信号(以下 AERIAL 2 と呼ぶ) および MOON SURFACE (以下 MOON と略す) を用いた。

4-2 シミュレーション結果

AERIAL, MOON についてスペックルを重畳した画像にフィルタリングを行った画像を観測画像、原画像とともに図 1, 図 2 示す。両図ともに(a)が原画像, (b)が観測画像, (c)が 3×3 ピクセルのウィンドウによる処理画像, (d)が 5×5 ピクセルのウィンドウによる処理画像, (e)が文献³⁾の方法による処理画像(ウィンドウサイズ 3×3 ピクセル 4 ルック相当)である。いずれの処理においても(b)に見られるスペックルノイズが低減されていることがわかる。 3×3 ピクセルのウィンドウによる(c)と文献³⁾による(e)を比較すると, (c)の方が(e)と同程度に原画像の特徴を残しながらやや視覚的に滑らかな印象を与えていることが確認できる。(d)の 5×5 ピクセルのウィンドウによる処理画像は(c), (e)とは異なる印象を与えるもので, スペックルはよく低減されているがエッジなどの画像の重要な特徴は平滑化されずに保存されている。(c), (e)に比べやや細部表現力に乏しい印象があるが, 用途によっては有用であると考えられる。次に, 表 1 に各処理画像の積ノイズのコントラストおよび処理画像と原画像の相関係数を示

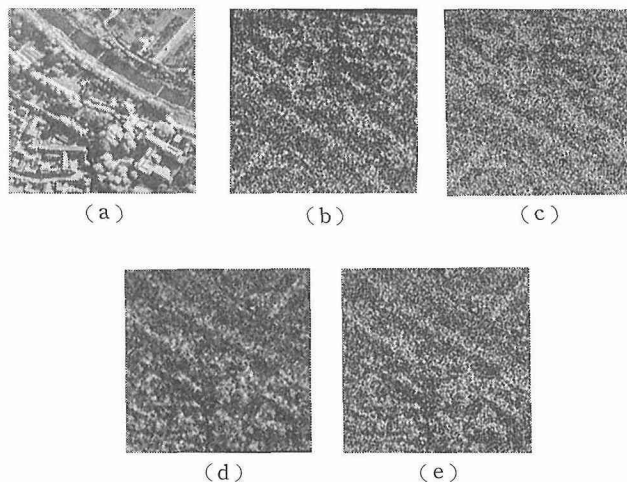


図-1 AERIAL に対するシミュレーション

(a)原画像 (b)観測画像 (c)提案法 (3×3 ウィンドウ)
(d)提案法 (5×5 ウィンドウ) (e)文献³⁾の方法

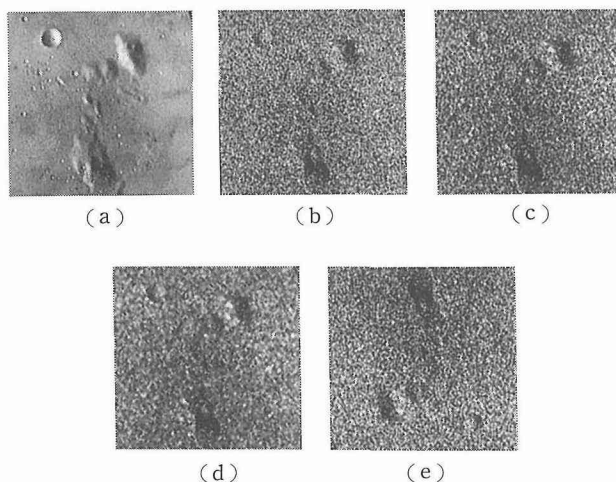


図-2 Moon に対するシミュレーション
(a)～(e) は図-1 と同じ

表-1 シミュレーションの結果

	AERIAL		AERIAL 2		MOON	
	C	r	C	r	C	r
3×3	0.57	0.44	0.57	0.40	0.58	0.33
5×5	0.42	0.51	0.41	0.49	0.43	0.43
文献 ³⁾	0.68	0.39	0.68	0.35	0.68	0.29

C : ノイズのコントラスト, r : 相関係数

す。積ノイズのコントラストは残留しているスペckルの大きさを示し、値が小さいほどスペckル低減効果が高いと考えられる。相関係数は原画像に対する処理画像の忠実さを表し、値が1に近いほど原画像に忠実である。 3×3 ピクセルのウィンドウで処理した画像と文献³⁾による処理画像を比較すると、ノイズのコントラスト、相関係数の両方で提案方法が優れている。一方 5×5 ピクセルのウィンドウで処理した画像はノイズのコントラスト、相関係数の両方で最も良い値を示しており、全体としては原画像に最も忠実なものであることがわかる。

5. ま と め

スペckルノイズの低減のためにコントラストに着目した新しいフィルタを提案した。この方法はコントラストが画像の平坦さ(複雑さ)を表すパラメータであることから、原画像のコントラストを観測画像から推定してこのコントラストが保存されるような処理を観測画像に対して行うことでスペckルの低減を図るものである。スペckルノイズを重畳した画像にこの方法を適用した結果、画像の特徴を大きく損なうことなくスペckルノイズを低減できることが確かめられた。

5. 参 考 文 献

- 1) L. J. Porcello, N. G. Massey, R. B. Innes and J. M. Marks: "Speckle reduction in synthetic

- aperture radars," J. Opt. Soc. Am., vol. **66**, pp. 1305-1311 (Nov. 1976)
- 2) J. W. Goodman: "Statistical Properties of Laser Speckle Patterns," in *Laser Speckle and Related Phenomena*, J. C. Dainty, ed., Springer Verlag, 1975
 - 3) 広沢春任: "1 ルック合成開口レーダ画像のスペックル低減", 信学論(B-II), Vol. **J75-B-II**, 3, pp. 197-200(1992-3)