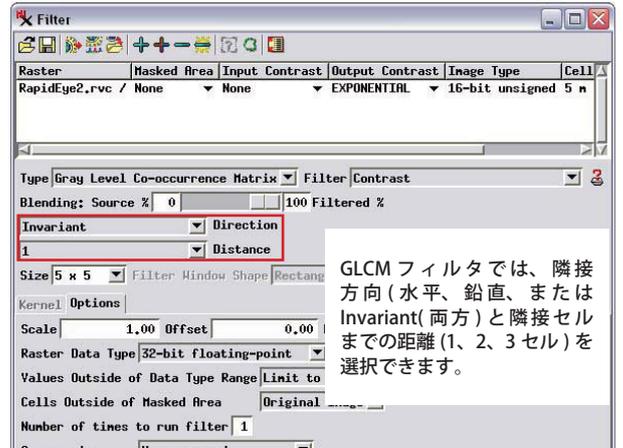


グレーレベル同時生起行列フィルタ

TNTmips の空間フィルタ処理 (画像 / フィルタ / 空間フィルタ) には、画像のテクスチャに関する情報を抽出するために設計された一連のグレーレベル同時生起行列 (Gray Level Co-occurrence Matrix; GLCM) フィルタがあります。グレースケール画像 (またはカラー画像の各成分) では、画像のテクスチャは輝度値の変動の量や空間スケール、空間的パターンによって定義されます。グレースケール画像の領域には、広い範囲にわたってグレーレベルでの輝度がほとんど変動していない領域があります。このような領域は視覚的に滑らかに見えます。狭い範囲でグレーレベルに多くの大きな変化が見られれば、視覚的に粗く見えます。テクスチャは画像分類で出てくる他の特性と共に使用されます。

グレーレベル同時生起行列 (GLCM) フィルタは、フィルタウィンドウの各位置において、特定のセル値のペアが隣り合う位置 (右隣りにあるセルなど) に発生する頻度を計算します。結果は同時生起行列に集計され、この行列から統計的な指標が計算され、対象セルのフィルタ値が計算されます。



サンプルフィルタウィンドウ

1	1	2	2	3
1	2	2	3	3
2	2	3	3	4
2	3	3	4	4
3	3	4	4	1

この5×5のサンプルフィルタウィンドウでは、1～4のグレーレベル値を持った画像を表わしています。2の値の右隣りに3がある場所を赤の楕円で示しています (4箇所)。フィルタ値は、フィルタされた画像の中央セルの場所 (黄色) に書かれます。

右隣りのセルに対するグレーレベル同時生起行列 (生データの集計)

		隣接セル値			
		1	2	3	4
基準セル値	1	1	2	0	0
	2	0	3	4	0
	3	0	0	4	3
	4	1	0	0	2

左のフィルタウィンドウに対するグレーレベル同時生起行列。基準セル値 (行) と右隣りのセル値 (列) との組み合わせが何回出現しているかカウントしています。行列の位置 [2,3] のカウントは4で、位置 [3,2] は0で、後者は3の右隣に2がある場合はありません。対角線上の行列セル (網掛け) では、グレーレベルの基準セル値と隣接セル値が同じ場合のカウント数を表わしています。

水平方向のグレーレベル同時生起行列 (生データの集計)

		隣接セル値			
		1	2	3	4
基準セル値	1	2	2	0	1
	2	2	6	4	0
	3	0	4	8	3
	4	1	0	3	4

左右対称のグレーレベル同時生起行列。基準セル値と隣接セル値を左右入れ替えることによって、グレーレベル値のペアが2回カウントされます。ここでは主対角行列セルの反対側に同じ値が現れます (例えば、赤い丸で示された [2,3] と [3,2] の位置には同じ4が現れます)。このフィルタウィンドウでは、対角線から離れた行列位置ほど、基準セル値と隣接セル値のグレーレベル値の差が大きく、数が少ないことが分かります。

グレーレベル値1～4、サイズ5×5のフィルタウィンドウに対するグレーレベル同時生起行列が例示されています。行列の各位置は、画像の基準セル値 (行列の行) とその隣接セル値 (行列の列) の組み合わせ (ペア) を表しています。この例では右に隣接するセルのグレーレベル値を見ています。両方のグレーレベル値が同じペアは、行列の主対角セルに表示されています ([1,1], [2,2] など; 上図中央の網掛け部分)。

フィルタウィンドウ内にあるグレーレベル値の基準セル-隣接セルペアのインスタンス数を単純にカウントしたものが、生の同時生起行列です。この図では行列の値の計算方法の例として、セル値2に隣接してセル値3が4回

発生していることを示しています。このフィルタウィンドウでは、セル値3の右隣にはセル値2は発生しないため、行列位置 [3,2] のカウント数は0になります。

テクスチャフィルタでは、主対角行列セルの反対側にも同じ値が発生する左右対称の同時生起行列を必要とします。上図の例では、反対方向の各グレーレベル値のペアを再度カウントすることで、これが実現されます。そのため、行列位置 [3,2] のカウント数は位置 [2,3] のカウント数と等しくなります。同時生起行列の最後のステップでは、生のカウント数を全カウント数の合計値で割って生のカウント数を確率値に変換し、正規化された同時生起行列を生成します (最終ページに計算した結果の図を掲載しました)。

(次ページに続く)

正規化された GLCM は、入力画像の各セル値とは無関係にフィルタウィンドウを使用して計算されます。GLCM の各フィルタは、特定の入力画像のセルの位置に出力セル値を計算するため、同時生起行列とは異なる計算を行います。

A) 方向と距離

[方向 (Direction)], [距離 (Distance)] メニューを使用して、様々な空間的隣接関係を指定できます (前ページ上部の図)。[方向] では、水平 (Horizontal; 左右の隣接)、鉛直 (Vertical; 上下の隣接)、または Invariant (全方向; 右、右上、上、左上の隣接) を選択することができます。[Invariant] 設定は、画像のテクスチャ要素に特定の方向性がないような一般的な場合に最適です。[距離] 設定では、基準セルと隣接セル間のピクセル距離を指定します。選択肢は 1 (デフォルト)、2、3 セルです。[距離] 設定を大きくすると、サンプリングされるテクスチャのスケール (広がり) が増えます。

B) GLCM フィルタの使い方

[空間フィルタ] ウィンドウの [タイプ] メニューから [Gray Level Co-occurrence Matrix] を選択すると、[フィルタ] メニューで 8 種類のフィルタの選択ができます。以下では、右に示す平滑な領域と粗い領域の両方を含むグレースケール画像を使って、フィルタサイズ 3×3 、方向 = Invariant、距離 = 1 の場合の各フィルタの結果を紹介します。



サンプル画像

C) GLCM フィルタの種類

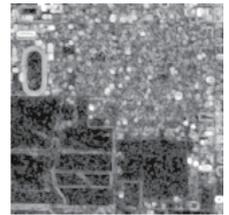
GLCM フィルタは、概念的に次の 3 つのグループに分類されます: (1) コントラスト、(2) 規則-不規則系、(3) 統計。

(1) 「コントラスト」グループ

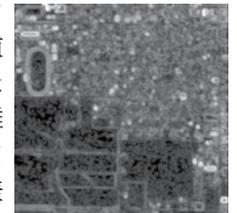
コントラストグループのフィルタは、GLCM 行列のグレースケール値のペアを使用して、画像領域のグレースケールの差異 (または欠如) の大きさを測定します。これらのフィルタでは各フィルタウィンドウに対し正規化された GLCM 値の加重平均を使用し、フィルタ値を計算します。GLCM の主対角セルは、基準セル値と隣接セル値が同じであることを表わしています。主対角セル以外の場所はペアのグレースケール値が同等でない場所であり、主対角セルから反対の角に向かうにつれ、隣接ペア間の輝度の差が増していきます。これらのフィルタの加重平均の重みの値は、GLCM の主対角セルからの距離に応じて変化します。

① [コントラスト] フィルタ (または偏差平方和) は、グレースケール値の差の二乗に等しい GLCM の重み因子を用いて、グレースケール値のコントラストを測定します。

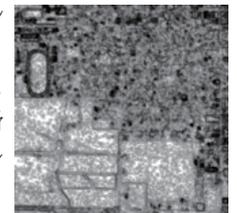
従って、行列の主対角セルの場所で平均化の重みは 0 ですが、主対角セルから離れるにつれ急激に増加します。フィルタ結果は、同一の画像値をもつ領域では 0、トーンに大きな違いがある領域では高くなります。



② [Dissimilarity (異質性)] フィルタは、グレースケール値の差の絶対値に等しい重み因子を使用するため、行列の主対角セルからの距離に応じて直線的に重みが増加します (コントラストフィルタの偏差の二乗とは違います)。出力値はコントラストフィルタの結果と類似しており、モニターのコントラストを注意して選択すれば、両者は表示画面上でほぼ同一に見えるようにすることができます。



③ [Homogeneity (均質性)] フィルタ (または逆距離モーメント) は、コントラストフィルタの逆数です。このフィルタでは画像領域の平滑さを測定します。重みはグレースケール値の差の二乗の逆数 (コントラストフィルタの重みの逆数) と同等です。このフィルタでは、グレースケールにほとんど差のない領域においてより高い値を生成しますが、これにより主対角セルに沿った、または付近の場所に 0 以外の値が集中した GLCM が生成されます。



(2) 「規則-不規則系」グループ

規則-不規則系グループのフィルタは、フィルタウィンドウの画像値が規則的に配置されているか、またはランダムに配置されているかを測定します。より規則的な画像領域では、特定の画像セル値のペアが他の領域に比べて頻発しますが、ランダムな画像領域では、全グレースケール値のペアの発生頻度が一律に低くなります。

これらのフィルタでは、フィルタ結果を得るのに正規化された GLCM 値の加重平均が使われます。フィルタ名の由来は物理学や熱力学の分野から来ています。

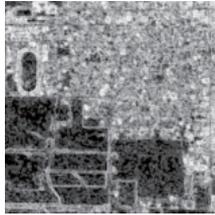
① [Angular Second Moment (角 2 次モーメント)] (または均一性、エネルギー) フィルタでは、画像領域のテクスチャの均一性を測定します。画像領域において画像値が均一の場合や画像値のパターンが繰り返される場合に値が最も高くなります。このフィルタでは、平均化の重みは GLCM 行列値のみのため、結果は行列セル値の二乗の合計です。この二乗の関係によって、発生頻度の高い 1 つまたは



(次ページに続く)

少数の行列の場所 (平滑な領域または繰り返しパターンの領域にそれぞれ対応) からは高いフィルタ値が生成され、他方、ランダムパターンの頻度が一定して低い場所はフィルタ値が低くなります。

- ② **[Entropy(エントロピー)]** フィルタでは、画像領域の不ぞろいさや不規則性を測定します。各 GLCM 位置に対する平均化の重みは、発生頻度の負の対数関数です。この重みは高頻度で発生するグレーレベル値のペアの影響を最小限に抑え、輝度値がランダムに分布する場合に高いフィルタ値をもたらします。



正規化されたグレーレベルの同時生起行列 (水平方向)

		隣接セル値			
		1	2	3	4
基準セル値	1	0.05	0.05	0.00	0.03
	2	0.05	0.15	0.10	0.00
	3	0.00	0.10	0.20	0.08
	4	0.03	0.00	0.08	0.10

(3) 「統計」グループ

統計グループの各フィルタは、GLCM 行列の値の標準的な統計的指標を計算します。

- ① **[平均 (Mean)]** フィルタは、他のグレーレベル値との組合せの正規化された発生頻度を各画像のグレーレベル値に掛けたものの合計です。



- ② **[Variance(分散)]** フィルタは、GLCM 平均に対する行列の統計的分散 (標準偏差の二乗) を計算して、GLCM 発生頻度の値の広がりを計測します。グレーレベル値が一定のフィルタウィンドウでは、GLCM の分散に対して 0 を生成します。



- ③ **[相関 (Correlation)]** フィルタでは、画像の各グレーレベル値と隣接する画像セルのグレーレベル値との線形依存性を測定します。完全相関を示すフィルタ値 1 は、一定の画像値を持つ領域から生じるのに対し、フィルタ値 0 は相関がないことを示しています。



D) 使用にあたっての注意

一般的に [GLCM] フィルタのほとんどは、小さな非整数のセル値をもつ結果を生成します。従って、最良の結果を得るためには、[GLCM] フィルタの [Blending] 設定を '100% Filtered'、[ラスタデータの種類] 設定を '32 ビット浮動小数点' (デフォルト設定) にすることをマイクロイメージ社では推奨しています。