

# 正弦波変調撮像を用いた表面形状の運動ボケ補償とその評価

1180378 松本 康平 【 画像情報工学研究室 】

## 1 はじめに

製品の外観検査に対して、メカニカルなコスト面からベルトコンベアを動作させたまま表面形状を取得すると、運動ボケが発生する。

本稿では、時間相関イメージセンサとリング状変調照明を用いた、照度差ステレオ法に基づく表面法線取得に運動ボケ補償を行う手法 [1] に対して、参照信号を工夫することで、より高精度に表面形状を復元する手法、および実験結果を報告する。

## 2 シングルフレーム照度差ステレオ法

対象表面の法線ベクトル  $\mathbf{n}$  の天頂角を  $\Theta$ ，方位角を  $\Phi$ ，リング状変調照明光源方向ベクトル  $\mathbf{l}(\phi)$  の天頂角を  $\psi$ ，方位角を  $\phi$  とすると，リング照明変調強度  $L_1 = L_0\{1 + \cos(\omega_r t + \phi)\}$  によって変調される対象表面上の各点における反射光強度が次のように計算される。

$$I(t) = \int_0^{2\pi} r_l L_1(\phi, t) (\mathbf{l}(\phi) \cdot \mathbf{n}) d\phi \quad (1)$$

$$\equiv f_0(t) + f_c(t)e^{j\omega_r t} + f_c^*(t)e^{-j\omega_r t} \quad (2)$$

ここで， $r_l$  は拡散反射率， $f_c(t) = \pi r_l L_0 \sin \psi \sin \Theta e^{j\Phi}$  である．変調された反射光強度変化を，周波数  $\omega_r$  の直交正弦波対  $(\cos \omega_r t, \sin \omega_r t)$  を参照信号とした時間相関イメージセンサの相関出力  $g_{\omega_r}$  によって  $f_c$  を得る。

## 3 運動ボケと通過帯域の拡張

速度  $V$  の等速直線運動による運動ボケした相関画像  $g_{\omega_r}$  は，矩形波  $\text{rect}$  との畳み込み  $f_c * \text{rect}$  で表現できる．このとき， $g_{\omega_r}$  のフーリエ変換  $G_{\omega_r}$  は， $f_c$  のフーリエ変換  $F_c$  と sinc 波  $\text{sinc}(uVT)$  との乗算となる。

1 フレーム時間に 1 周期の基本角周波数を  $\omega_T = 2\pi/T$  とおき，参照信号を  $\omega = \omega_r + \omega_T$  とすると，周波数シフトによって乗算される sinc 波が通過帯域がシフトした  $\text{sinc}(uVT/2 - \omega_T T)$  となる．異なる通過帯域を持つ相関出力の和を取ることで，図 1 のように通過帯域を拡張できる。

$$G_{\omega_r}(u, v) + G_{\omega_r - \omega_T}(u, v) + G_{\omega_r + \omega_T}(u, v) = \{\text{sinc}(uVT) + \text{sinc}(uVT - \omega_T T) + \text{sinc}(uVT + \omega_T T)\} F_c(u, v) \quad (3)$$

また， $\omega_r = 0$  とすることで，強度画像についても同様に通過帯域を拡張できる。

以上によって得られた運動ボケを除去した相関画像，強度画像のペアから，運動ボケのない表面形状を取得する。

## 4 実験

図 2 の凹凸のある紙を撮像対象として，27.3 画素/フレーム時間で  $x$  軸方向に運動させ，帯域拡張のために 4 つの参照信号  $e^{-j\omega_r t}$ ， $e^{-j(\omega_r - \omega_T)t} + e^{-j(\omega_r + \omega_T)t}$ ，

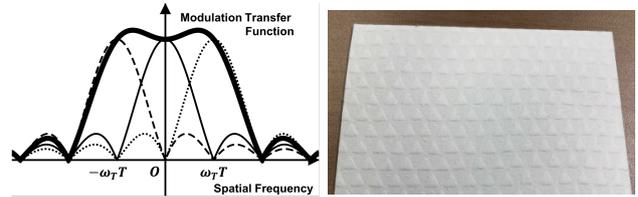
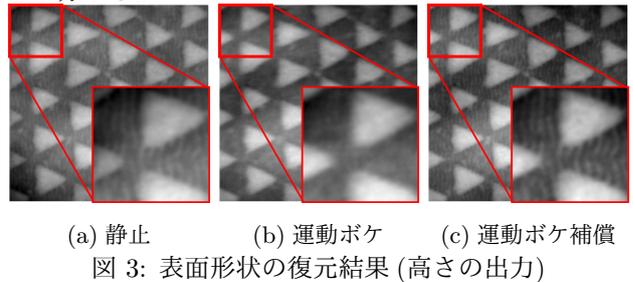
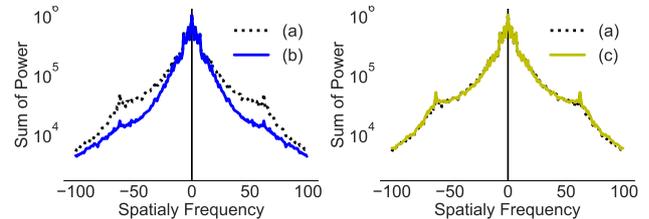


図 1: sinc 波シフトとその和 図 2: 撮影対象:凹凸ある紙

$e^{-j(\omega_r - 2\omega_T)t} + e^{-j(\omega_r + 2\omega_T)t}$ ， $e^{-j(\omega_r)t} + e^{-j(\omega_r)t} + j(e^{-j(2\omega_T)t} + e^{-j(2\omega_T)t})$  を入力した．(a) 静止，(b) 運動ボケ，(c) 運動ボケ補償した表面形状を図 3，またその中央付近のパワースペクトルを図 4 に示す．図 3 から，運動ボケ補償された表面形状には静止同様，微細なパターンが検出できる．また，図 4 から，運動ボケ補償された表面形状は帯域が拡張され，パワースペクトルが減衰していないことが分かる。



(a) 静止 (b) 運動ボケ (c) 運動ボケ補償  
図 3: 表面形状の復元結果 (高さの出力)



(a) と (b) の比較 (a) と (c) の比較  
図 4: パワースペクトル中央 (200 × 200) 領域を移動方向に垂直な縦 ( $v$ ，空間領域における  $y$ ) 方向の合計を取った，200 個の 1 次元データのプロット．元の画像サイズ:(1024 × 1280)

## 5 まとめ

本稿では，時間相関イメージセンサとリング状変調照明を用いた照度差ステレオ法に基づいた表面形状の運動ボケ補償に対して，異なる周波数の複数次正弦波和を参照信号とした，運動ボケ補償された表面形状の取得法を提案した。

## 参考文献

[1] 栗原 徹，安藤 繁，”オンライン検査のための時間相関撮像による法線ベクトル映像の 1 次元運動ぼけ補償，”第 29 回センシングフォーラム，pp.263-268，2012.