受光系に液晶シャッターを用いた光切断法による断面形状測定

正員 松本哲也 (兵庫県立工業技術センター)

非会員 北川洋一 (兵庫県立工業技術センター)

非会員 中里一茂 (兵庫県立工業技術センター)

Light Sectioning for Profile Measurements Using Liquid Crystal Shutter in Sensing Unit

Tetsuya Matsumoto, Member, Yoichi Kitagawa, Non-member,

Kazumo Nakazato, Non-member (Hyogo Prefectural Institute of Industrial Research)

キーワード：光切断法、三角測量法、形状計測、液晶シャッター

1. はじめに

三次元物体の形状測定を行う方法として、光切断法が有効である。この方法は、スリット光を物体面に投影し、表面上の光切断線を異なる方向から観測するもので、目的に応じて様々な手法が提案されている^{1),2)}。この光切断法では通常、TVカメラにより光切断像を測定するため、強い外乱光下での測定は容易でない。そのため屋外など外乱光の強度変化の激しい場所での利用が困難であった。一方、1点までの距離を測定する方法³⁾では外乱光の影響を除去できるが、断面形状の測定には機械的走査を必要とする。

そこで我々は、液晶シャッターを空間光変調器として受光系に用い、外乱光の強い場所での利用が可能な光切断法を提案する。この方法では、受光素子にフォトダイオードを用い、測定量として光強度比を得る構成であるため、強度変調信号の同期位相検波により外乱光の影響を除去できる。また機械的走査をせずに断面形状を測定できる。

2. 測定原理

受光系に液晶シャッターを用いた断面形状測定の原理を図1に示す。レーザ光を、ある周波数で矩形波状に強度変

図1 断面形状測定の原理

Fig.1 Principle of sectional profile measurement

調した後、円柱レンズL₁により紙面と垂直方向にシート状に拡げ、被測定物に照射する。物体面で得られる光切断線を、照射レーザ光の光軸からbだけ離れた位置にあるレンズL₂により、その後方の液晶シャッター面に結像させる。液晶シャッター面は、照射レーザ光の光軸と垂直に設置されているとする。

液晶シャッターには、図2に示すように、ステップ状の透過率分布を有する左右反転した2つの楔形パターンを順に描かせる。光切断像のうち、理想的には楔形の内側の部分のみ液晶シャッターを透過する構成となる。透過した光は、レンズL₃によりフォトディテクタ上に結像する。

今、光切断像が液晶シャッター上で実線で示す位置に結像されているものとする。(a)ならびに(b)の場合の透過光強度をそれぞれ I_a, I_b とすると、これらの光強度の比 I_a/I_b は、光切断像のうち楔形パターンをよぎる部分までの距離 z と一対一に対応し、次式で与えられる。

$$z = (hb) / \left(d + \frac{I_a - I_b}{I_a + I_b} \cdot \frac{w_x}{2} \right) \quad (1)$$

ただし w_x は液晶シャッターの横方向の長さ、 h はレンズL₂と液晶シャッターの中心間の距離の z 方向成分、 d は z に垂直な方向の成分である。この式から、光強度比 I_a/I_b を測定することで、物体表面のある1点までの距離 z が求められる。楔形パターンの高さを w_p とすると、図1の紙面に垂直な方向の測定分解能は、 $w_p/(L_2$ の結像倍率)となる。比の演算を行うため、距離ならびに表面反射率による反射光強度変化の影響を受けにくい。

図2 液晶シャッターの透過率分布

Fig.2 Patterns drawn on liquid crystal shutter

図3 フォトディテクタからの出力波形例

Fig.3 Output signal from photodetector

得られる光強度信号に対し、式(1)の比演算の前にロックインアンプにより同期位相検波を行い、強度変調レーザ光成分のみを抽出する。照射レーザ光を強度変調させ、測定信号を同期位相検波することにより外乱光の影響を除去することが可能となる。その後、図2に示すように楔形パターンを上下方向に一定画素だけシフトさせ、上記の距離測定を繰り返すことにより、シート光を照射している1断面の形状を測定することができる。

3. 実験結果と考察

提案した手法の性能を示すため、段差物体の断面形状測定実験を行った。実験では、レーザ光源に出力25mW、波長633nmのHe-Neレーザを、液晶シャッターに対角1.8インチ($w_x=28\text{mm}$)のものを用い、 $w_p=3.4\text{mm}$ のパターンを表示した。図2の点AにおけるHe-Neレーザ光の透過率は垂直入射で4.6%、点Bにおけるそれは0.2%であった。また、フォトディテクタには受光面の大きさが $5.8 \times 5.8\text{mm}$ のシリコンフォトダイオードを用いた。さらに、 $b=288\text{mm}$ 、 $h=270\text{mm}$ 、 $d=118\text{mm}$ に、照射レーザ光の変調周波数を500Hzに設定した。外乱光には室内の蛍光灯照明を用いた。

測定物体には、段差が20mmで白色表面のものを用い、段までの距離 $z=64\text{cm}$ の位置に、照射レーザの光軸に対して 45° 傾斜させて設置した。

ロックインアンプへの入力信号波形を図3に、断面形状測定結果を図4に示す。段差表面の各測定点までの距離測定値から、段差形状を計算している。外乱光の振幅が大きい場合にも中央部の段差を検出できていることがわかる。比較のため、レーザ変位計(Selcom製Optocator Type:2203-503)を走査させて同じ箇所を測定した結果を図5に示す。

1断面の形状測定に要する時間は、最短で、 $1/15\text{秒}$ (1対の楔形パターンの表示時間) $\times$ 測定点であり、図4の場合は測定点が40であるので2.7秒となる。

4. むすび

光切断法の受光系の結像面に楔形パターンを表示させた液晶シャッターを置き、そこを透過した光強度の比から物体までの距離及び断面形状を測定する手法を提案した。この測定法は、変調照射光の同期位相検波が可能ことから、外乱光の下でも物体の形状を測定できることを示した。測定精度の評価については次の機会に報告したい。

図4 段差物体の断面形状測定結果

Fig.4 Experimental result of profile measurement of step object

図5 レーザ変位計を用いて得られた断面形状

Fig.5 Profile measured with laser displacement sensor

(平成9年5月26日受付)

文 献

- (1) G.Häusler and W.Hackel, "Light sectioning with large depth and high resolution," *Appl. Opt.*, Vol.27, pp.5165-5169 (1988).
- (2) J.Lewandowski and L.Desjardins, "Light sectioning with improved depth resolution," *Opt.Eng.*, Vol.34, pp.2481-2486 (1995).
- (3) T.Matsumoto, et.al., "Profile measurement based on reflection characteristics at a critical angle using a modulated laser beam", *Proceedings of ICEMI'92*, pp.238-241 (1992).

松本 哲也 (正員) 1961年2月28日生まれ。83年神戸大学工学部計測工学科卒業。同年兵庫県立工業技術センター入所。主として光応用計測技術、中でも三次元形状計測技術の開発に従事。OSA、SPIE、日本光学会などの会員。博士(工学)。

北川 洋一 (非会員) 1955年9月29日生まれ。78年大阪大学工学部応用物理学科卒業。79年兵庫県立工業技術センター入所。主として光応用計測技術の開発に従事。OSA、応用物理学会、日本光学会などの会員。工学博士。

中里 一茂 (非会員) 1968年7月20日生まれ。91年姫路工業大学工学部電子工学科卒業。同年兵庫県立工業技術センター入所。光応用計測技術の開発に従事。応用物理学会会員。