

低コスト走査型 LIDAR 構造の提案

三輪 鉄春

JNC 石油化学株式会社 市原研究所 (〒290-8551 千葉県市原市五井海岸 5-1)

NEW structure of Low Cost Scanning LIDAR

Tetsuharu Miwa

JNC Petrochemical Co., 5-1 Goi-kaigan, Ichihara, Chiba 290-8551.

Abstract

We propose a new structure of autonomous LIDAR which consists of low proportional cost parts: LCOS, a small spherical mirror with transparent layer, a spherical meniscus lens, and a photosensor. The LCOS steers the beam and corrects beam spreading error. The purpose of the mirror is a scanning range extender and a blocker of the direct reflection of LCOS. The photosensor is used as a built-in calibrator in order to detect the mirror position error and misalignment of beam optical axis. LCOS can also correct these error. These corrections enable to reduce inspection process cost and improve long-term reliability. The structure realizes multiple pencil beam scanning LIDAR or scanning flush LIDAR.

Key Words: LCOS, built-in calibrator, long-term reliability, autonomous LIDAR

1. はじめに

近年、自動車の自動運転の実用化に向けた開発が進行している。SAEが定義¹⁾したレベル3以上では、LIDAR が搭載され、2025~2030 年には市場が拡大すると予想されている²⁾。この時期に量産される自動車へ搭載するため、低コストかつ高信頼性 LIDAR の開発が行われている。

2. 低コスト、高信頼性 LIDAR 構造の提案

2.1 LCOS (Liquid Crystal On Silicon)によるビーム方向の変更

ホイヘンス=フレネルの原理より、ビーム進行方向に対して平行でない平面における各領域で、適切な位相遅延を挿入することにより進行方向を変えることができる。ネマチック液晶には、電場に依存して複屈折軸が変化するという性質がある。直線偏光のビームと複屈折軸がなす角度を変化させれば、挿入される位相遅延量が変わる。この性質を利用して、液晶を封入したパネルの1種である LCOS でビームの制御を行っている例がある³⁾⁴⁾。

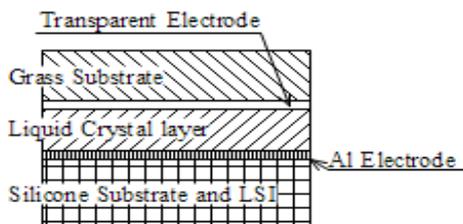


Fig. 1. Structure of LCOS

なお位相遅延挿入によるビーム射出方向の変更は、各操作点における強度、位相を含んだ電場のフ

ーリエ変換で表されることが知られている⁴⁾。通常のレンズ、回折格子もフーリエ変換と同等の操作を行っている⁵⁾。このため、位相遅延を挿入したセルによるビームの操作は、一次近似では、各操作点に仮想のレンズもしくは回折格子を挿入したものとなる。本発表におけるシミュレーションは、単純化のためにこの手法を採った。

本シミュレーションでは、反射面を持つ液晶を封入したパネルである LCOS を使用した。これは以下の利点があるためである。

- ・プロジェクターに用いられており安価
 - ・液晶の透過長を大きくしやすいため、位相遅延操作量が液晶層厚さの割には大きい
 - ・サイズが 10mm 角程度と小さく小型化に向く
 - ・機械的な可動部品が全くないため信頼性が高い
- ただし実用化のためには、以下の課題を解決する必要があると考えている。
- ・走査範囲が数度程度と狭い
 - ・直接反射光がノイズ要因となる

2.2 新規 LIDAR の構造

上記課題の解決のために球面鏡の適用を検討した。球面鏡の利点を以下に示す。

- ・単純な形状での走査範囲広角化
- ・検査治具の単純化
- ・組み付け時に角度誤差が発生しない
- ・球面鏡への入射位置の違いを利用した直接反射光と走査光の分離

さらに、球面鏡で分離された LCOS の直接反射光が LCOS 設置平面へ投射されるよう設計することにより、光学系のキャリブレーションが可能になる。LCOS 設置平面への投射座標には、LCOS と球面鏡

の相対位置、ビームの光軸ズレに関する情報がある。この情報を用いてフィードバック制御を掛ければ、機械的な位置の調整なしに、組み立て時、もしくは経時変化による誤差を吸収できる。これは、製造コスト低減に資する。なお Time Of Flight 方式の LIDAR では、タイミング、ビームの時間プロファイルの測定のためにフォトセンサを必要とする場合がある⁶⁾。このフォトセンサをキャリブレーションに流用すれば、ハードウェアの追加費用はほとんど無い。

ただし球面鏡には、ビームの広がり大きい、外部への放射方向に依存して広がり変化するという問題がある。この問題に対応するために、鏡表面の透明層、およびメニスカスレンズを追加した (Fig.2)。Fig.2 の寸法の最適化のために、以下の計算を行った。入射ビームを半径 800 μm のガウスビームとした。このガウスビームを複数のビームレットに分解し、それぞれに対して光線追跡を行った。ビームレットの角度操作は、全てのビームレットと LCOS の操作点に対して、同じパラメータの仮想回折格子を挿入することにより行った。誤差は、外部へ放射されるビームレットのベクトルと、目標としたベクトルがなす角度より評価した。複数のビーム放射方向に対して、この角度差の和を最小化する最適化を行った。

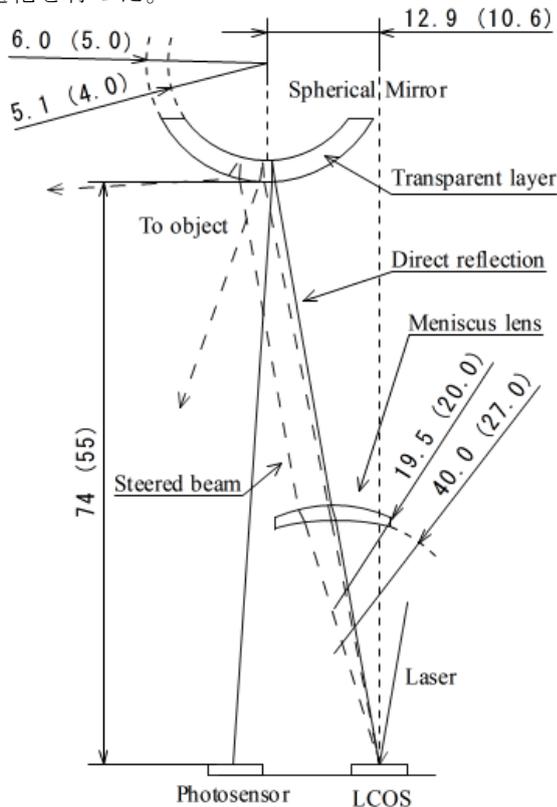


Fig. 2. New structure of Low Cost LIDAR.

Dimension legend: Param. for pencil beam
(Param. for spreaded beam)

Fig. 2. New structure of low cost LIDAR
Dimension legend:

For Pencil beam (For Spread beam)

LCOS 上におけるビーム中心角度の変更量を 0.5° から 3° の範囲としペンシルビーム、もしくは頂角が 20° の円錐状ビームを外部へ放射する条件での走査範囲、誤差を求めた。ペンシルビームは LCOS 設置面への射影で $\pm 80^\circ$ 、LCOS 設置面と垂直な面への射影で 33° の走査範囲、最大 2.3° の角度誤差となった。頂角が 20° の円錐状ビームでは、LCOS 設置面への射影で $\pm 56^\circ$ 、LCOS 設置面と垂直な面への射影で 51° の走査範囲、最大 2.6° の角度誤差となった。

次いで、最適化後の残留誤差を減少させるための計算を行った。ここでは、各操作点に最小操作角度の整数倍の角度変更を与える仮想レンズを挿入した。最小操作角度決定のために LCOS のパラメータを表のように定めた。また、光源の波長を 905nm とした。最小操作角度は、隣接ピクセル間で 1LSB の屈折率差を付けた場合の角度、0.03° とした。最適化の結果、ペンシルビームでは、1° 未満まで、円錐形ビームでは 0.6° 以下まで誤差が減少した。

上記の結果より、角度分解能 1° のペンシルビーム走査型、もしくは円錐形ビーム走査による Flush 型 LIDAR 実現の可能性が示された。なおペンシルビーム走査型では、複数のビームを 1 つの LCOS から取り出すことにより単位時間あたりの測定点数を多くすることが出来る。また Flush 型では、同時に照射する範囲を狭く出来るため測定距離が延びる。これらの特性は車載用途に好適である。

上記の結果より、角度分解能 1° のペンシルビーム走査型、もしくは円錐形ビーム走査による Flush 型 LIDAR 実現の可能性が示された。なおペンシルビーム走査型では、複数のビームを 1 つの LCOS から取り出すことにより単位時間あたりの測定点数を多くすることが出来る。また Flush 型では、同時に照射する範囲を狭く出来るため測定距離が延びる。これらの特性は車載用途に好適である。

Table. LCOS parameters

Pixel Dimension	4 μm ×4 μm
Cell gap	1.5 μm
Refractive index	0.17
anisotropy	
Tone	8bit

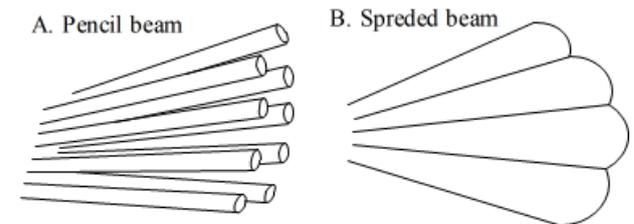


Fig. 3. Diagram of beam scanning pattern

参考文献

- 1) SAE International, "Surface vehicle recommended practice", J2016, Sep. 2016.
- 2) Yole Development, "What does the future of automotive market hold?", Presented at the CAR- ELE Japan, January 2016.
- 3) 光スイッチ論文
- 4) 早崎芳夫, 光学ライブラリー7 デジタルホログラフィ, 朝倉書店, 2016.
- 5) 谷田貝豊彦, 現代人の物理 5 光とフーリエ変換, 朝倉書店, 1992.
- 6) Texas Instruments, "LIDAR Pulsed Time of Flight Reference Design", 2018.