

# ファイバーレーザーを光源とし、RM変調コヒーレント検出を用いた自動運転用ライダーのシミュレーション Simulation of autodriving lidar based on RM-CW coherent detection using fiber laser

竹内 延夫 元・千葉大学 CERE S、 陳 衛標 上海 光機所  
Nobuo TAKEUCHI CERE S Chiba-u, Weibiao CHEN SIOM China

E-mail: takeuchi@faculty.chiba-u.jp

Key word : auto driving, 3D lidar, coherent detection, RM-CW modulation

Abstract: Auto driving of a vehicle is a hot issue present days. A method of 3D lidar detection based on coherent RM-CW modulation using a fiber laser is proposed and simulated.

## 1. 自動運転はなぜ必要なのか？

最近、自動車の自動運転がホットな話題となっている。自動運転は「SAE J3016」の基準を採用し、level 0(通常の乗用車)から level 5(システムによる完全自律的走行)のうち、level 3(条件付き自動運転)以上を言う。ここでは、自動運転の必要性について述べた後、自動運転に必要な技術としてのライダーについて紹介し、有望な手法の一つであるコヒーレント 3D 検出の性能についてシミュレーションを提案する。

## 2. 車載ライダーへの要求

自動運転の必須センサーとして車載ライダーが一般車両に普及するために望ましい要件は以下のように言われている [1]。

1. 小型であること。ex.10cm 角以下
2. 低コストであること。ex.1 万円以下
3. Eye safe (cw) ex.  $\lambda=0.9\mu\text{m}$  0.5mW  
 $\lambda>1.4\mu\text{m}$  10mW
4. 到達距離 ex. 広角で 1~100m  
(高速道路: 150m、5.4s の到達距離@100km/h)
5. 3D 計測(視野角) 広角 ex. 30°(水平方向)  
3.3°(垂直方向)

## 3. RM変調コヒーレント検出法

ライダーの検出法には TOF(Time of Flight)法とコヒーレント法があり、後者が高感度であると

$$I \propto (E_{\text{sig}} \cos(\omega_{\text{sig}} t + \varphi) + E_{\text{LO}} \cos(\omega_{\text{LO}} t))^2$$
$$= \underbrace{\frac{E_{\text{sig}}^2 + E_{\text{LO}}^2}{2}}_{\text{constant component}} + \underbrace{\frac{E_{\text{sig}}^2}{2} \cos(2\omega_{\text{sig}} t + 2\varphi) + \frac{E_{\text{LO}}^2}{2} \cos(2\omega_{\text{LO}} t) + E_{\text{sig}} E_{\text{LO}} \cos((\omega_{\text{sig}} + \omega_{\text{LO}})t + \varphi)}_{\text{high frequency component}} + \underbrace{E_{\text{sig}} E_{\text{LO}} \cos((\omega_{\text{sig}} - \omega_{\text{LO}})t + \varphi)}_{\text{beat component}}$$

したがってコヒーレント法の受信信号強度は直接法と比べ、 $E_{\text{LO}}/E_{\text{sig}}$ ( $E_{\text{LO}}>E_{\text{sig}}$ )となる。

自動運転の最終目標としているのが、ドライバーの運転操作無しでどこでも好きなところに行ける「完全自動運転」level 5 である。

その必要性は

- ①安全性の向上 / 「事故 0」「死亡事故 0」を目指す。
- ②弱者の移動手段確保 / 運転困難者の自由な移動手段、
- ③カーシェアリングの利便性の確保、
- ④渋滞の緩和 / 一定の速度・適切な車間距離、
- ⑤人手不足の解消 / 物流の自動化・人手不足の一助、等である。

6. 必要分解能 視野角 0.1° (1.7mrad)以下  
25cm@150m

ex. 解像点数 300 点@30°(水平方向)  
33 点@3.3°(垂直方向)

7. 必要フレーム/秒 高繰り返し ex.30fps

8. 他車との混信防止

などであるが、ここではそれらを目標として、次節に述べる高感度の検出法を提案し、そのシミュレーションを行った。

いわれており、この受信強度は次式で与えられる [2]。

Tsuchida[3]はコヒーレント法に位相変調を導入した手法を提案している。著者の一人はコヒーレントでないが RM-CW(Random Modulation

CW)法[4]を提案し、他の著者は風を対象として同様の研究発表[5]を行っている。3D光源については flash 法[6]では出力が足りないので、何

#### 4 計算対象モデルとシミュレーション

対象のモデルとして、高速道路を 100km/h で走行する場合に前方約 200m をビーム広がり  $0.1^\circ$ 、水平方向  $30^\circ$ 、垂直方向  $3.3^\circ$  (計 9900 方向)を 30fps で計測するモデルを想定する。装置全体のサイズが、なるべく小型になることを念頭に、光源としてファイバーレーザー[8]を想定し、非線形現象が起こらない限界と eye safe を考慮して 10mW の CW レーザーに RM 変調をかける場合を想定する。(ビーム広がりを考慮するとさらに大きな出力を利用可能である)。また、RM 変調には距離 250m(往復時間  $1.67\mu\text{s}$ )を 25cm の分解能で計測するように 10 次の M 系列 (N=1023)を用いるものとする。波長  $1.5\mu\text{m}$  とすると、10mW は  $0.76 \times 10^{17}$  ケの光子数となる。RM-CW 変調コヒーレントライダーの概念図を図 1 に示す。想定するシステムはこれに 3D スキャンを付加したものである。

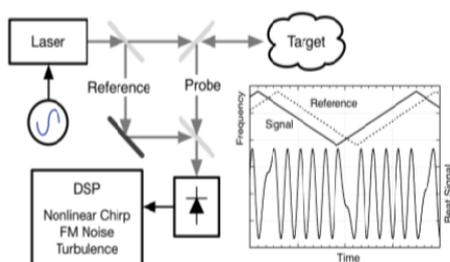


図 1 RM-CW 変調コヒーレントライダーの概念図

150m 前方の車を  $0.1^\circ$  の分解能(150m 先では 26cm)で計測する場合に、自動車の反射率を 10%、ライダーの受光径を  $5\text{cm}$   $\phi$  とすると、受

#### 5. まとめ

車の自動運転は安全性について、コヒーレント RM変調の検出についてシミュレーションを提案した。

#### 謝辞：

オプトロニクス大沢社長に情報を滞京いただいたことに対して感謝いたします。

#### 参考文献：

- 1) 「光技術×自動車」 オプトロニクス社 (2018.11)
- 2) N.R.Newbury, W.C. Swann, JOSAB 24 1756 (2007)
- 3) H. Tsuchida : Optics Express 25(5/6) 4793 (2017)
- 4) N. Takeuchi et.al.: Appl. Opt. 22 1382 (1983)
- 5) W. Chen et.al. : IEEE Photo. Tech. Let., 26(23) 2337 (2014)

らかの掃引法[7]によって、1 frame 内の時間 (33ms)の時間内で計測する場合を検討する。

光光子数は距離分解能 25cm に相当する  $33\mu\text{s}$  に  $6.6 \times 10^8$  ケとなる。コヒーレント検出にすることにより、ショット雑音だけを考慮すると、距離 100m の距離における SN は狭帯域のフィルターの使用により 100 倍以上増大する。また、

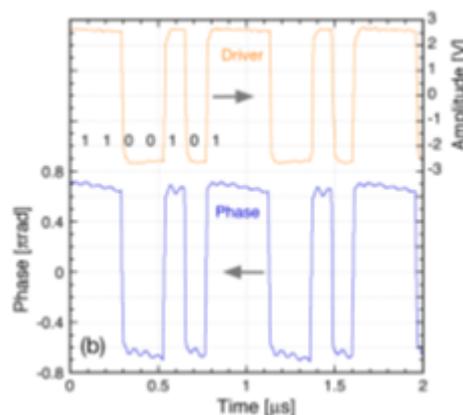


図 2 RM 変調デジタルコヒーレント測定の実験例[3]

RM 変調を使用することにより、位相誤差の減少により、距離精度が改善され、他車との混信を減少させることができる。

3次元でなく、一次元の計測であるが、7次の RM 変調を掛けた場合の測定例[3]を図 2 に示す。

ここでは高速道路の例を挙げたが、一般道路の場合には歩行者の飛び出し等も考慮する必要があり、Uber の事故[9]にもあったように、AI との協働が重要である。

- 6) P. F. McManamon: Opt. Eng. 51(6), 060901 (2012)
- 7) 例えば、Beam-Steering Device <http://steravision.com/>
- 8) 白川晃、植田憲一;レーザー研究 33(4) 254 (2005)
- 9) <https://jidouten-lab.com/y-uber-autonomous-car-accident>