

# LiDARの受光センサへ同期信号を与え 点群へ精密な時刻情報を付与する手法の提案と実験的評価

和田 善尚 曾根 卓朗 長谷川 丈 木谷 友哉<sup>†</sup>  
静岡大学 大学院総合科学技術研究科情報学専攻<sup>†</sup>

## 1 はじめに

LiDAR や観測対象が移動している場合において、点群の時刻情報が正確であれば、対象の実際の座標値とLiDARで計測した対象の座標値の誤差が小さくなる。点群の位置合わせアルゴリズムの一種であるICPアルゴリズム [1] では、各点群の最近傍の点を基準に位置合わせを行う。そのため、点群の座標値に対応する時刻情報の精度が正確であるほど、別々のLiDARから計測された点群が正確に位置合わせしやすくなる。しかし、市販のLiDARの時刻精度の詳細な仕様は公開されていない場合が多い。

そこで、本研究ではPPS (Pulse Per Second) 信号に同期させた妨害光を用いて、高い時刻精度でLiDARが計測した点群に時刻情報を付与する方法を考案する。PPS信号としてはGNSS受信機から出力される測位衛星システムの絶対時刻と同期した高精度なPPS信号が有名である。この手法を使用して市販のLiDARの時刻精度の検証と提案手法の有効性の考察する。

## 2 LiDARの測距方法と本研究の時刻同期手法

LiDARの計測方式の一種であるTime Of Flight方式では、LiDARに搭載されているレーザー光を対象に照射し、反射光を受光センサが受信することで、レーザー光の送信時刻と受信時刻の差を計算し、物体間の距離を計測する。

本研究ではPPSと同期した、LiDARのレーザー光と同程度の波長を持つLEDを、LiDARの受光センサに対して照射し、LiDARの計測を妨害する。そして、妨害を受けた時刻をもとに、点群に精密な時刻を付与する(図1)。

LiDARの受光センサに対して妨害光を与え、点群が妨害を受けた時刻とPPSの立ち上がり時刻を同定するために、図2の実験装置を作成した。

実験に使用したLiDARはPPSを割込み入力として受け入れ内部時計と同期させるための機能を持っている。しかし、実際はLiDARの内部時計の時間軸では、誤差が存在すると仮定し、 $T_1$ と定義する。

本実験手法では、LiDARのサンプリングレートの関係でPPSが立ち上がり時刻に対して、最大1サンプルの遅延誤差が存在する。その誤差を $T_2$ とする。

提案するPPS信号に同期した妨害光で時刻を同期させる手法では、最初に妨害を受けたサンプルを秒の先頭の時刻とする。この場合、平均でサンプリングレートの半分、最大でサンプリングレートの遅延が誤差 $T_2$ になる。市販LiDAR内部の時刻同期誤差 $T_1$ よりも、 $T_2$ が小さければより精密な時刻を点群に付与できるといえる。本稿による実験では、 $(T_1 - T_2)$ を計測して評価する。

## 3 評価実験

### 3.1 実験に使用したLiDARについて

使用した市販LiDARはLIVOX社のAVIA<sup>\*1</sup>である。サンプリングレートは秒間240,000サンプルである。AVIA自身には正確な時刻を付与するためのTime Syncポートが存在する。今回はLIVOX SDKを通じて設定し、GNSSのPPS信号を入力した。計測された点群データは、96サンプルごとに1パケットにまとめられ、パケットには先頭サンプルの計測時刻<sup>\*2</sup>が付与されている。本実験では前後のパケットに付与された時刻を線形補間した値を各サンプルの計測時刻とみなして分析を行った。

AVIAに搭載をされているレーザー光の波長は905nmであり、それと同程度の波長がピーク出力となるLEDを妨害光として選定した。AVIAでは、妨害光によって影響を受けたサンプルの三次元座標値は全て0になる。

### 3.2 検証方法と予想される $T_2$ の値

提案手法では、GNSSのPPS信号に同期させて妨害光をLiDARに向けて発光させる。このタイミングは計測された三次元座標値が連続して0になった最初のサンプルを特定することで検出し、そのサンプルに付与される時刻を正秒(\*.000000sec.)とした。

約1時間のサンプリングを2回行い、PPSの立ち上がり時刻と妨害光による影響を受け始めたサンプルの時刻を比較することで、 $(T_1 - T_2)$ の値を算出する。

PPS信号の絶対時刻に対する正確性は数十ns程度 [2] であること、LEDの点灯速度が $1\mu\text{s}$ より十分小さいこと、AVIAのサンプリングレートが $1/240,000\text{s}$ であることを考えると、 $T_2$ は最大で1サンプル分 $4.17\mu\text{s}$ の誤差の範囲内に収まると考えられる。そのため、 $T_2$ は $0\mu\text{s}$ 以上、 $4\mu\text{s}$ 以下の範囲内に存在し、 $2\mu\text{s}$ を平均値とした正規分布に近い形となることが予想される。

Proposal and experimental evaluation of a method to add precise time information to point clouds by applying synchronization signal to LIDAR photosensors

<sup>†</sup> Yoshinao Wada, Takuro Sone, Jo Hasegawa, and Tomoya Kitani, Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University

<sup>\*1</sup> LIVOX AVIA, <https://www.livoxtech.com/jp/avia>, 2024/01/12 閲覧

<sup>\*2</sup> Livox SDK Communication Protocol, 3.2 Time Stamp, <https://github.com/Livox-SDK/Livox-SDK/wiki/Livox-SDK-Communication-Protocol>, 2024/01/12 閲覧

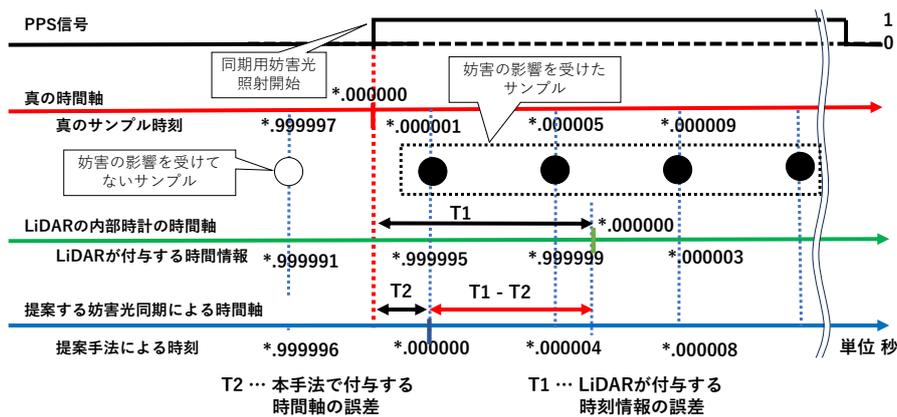


図1 PPS 信号と各時間軸の関係

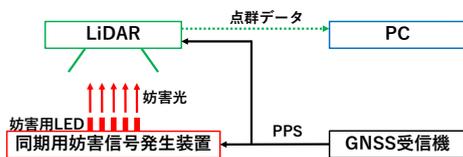


図2 作成した実験装置の概略

### 3.3 実験結果

実験結果は図3のとおりになった。1 $\mu$ s 毎にヒストグラムにした ( $T1 - T2$ ) の最頻値は 4 $\mu$ s であり、平均値は 4.9 $\mu$ s, 最大は 32 $\mu$ s であった。

なお、 $T2$  のばらつき  $\pm 2\mu$ s を考慮し、最頻値  $4\mu$ s  $\pm 2\mu$ s 内に存在するデータ数は 6149 個であった。これは、全データの約 87% に相当する。

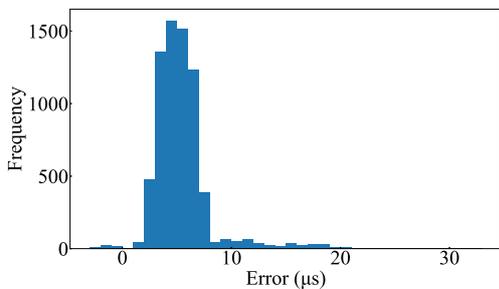


図3 ( $T1 - T2$ ) のヒストグラム (サンプル数 7094)

### 3.4 考察

( $T1 - T2$ ) の最頻値は 4 $\mu$ s であった。 $T2$  の平均値が 2 $\mu$ s であるとする、 $T1$  の最頻値は 6 $\mu$ s となる。つまり、AVIA が点群に付与する時刻は PPS 信号より 6 $\mu$ s 遅れていた。この遅れは、LiDAR 内部での同期信号の処理時間等が影響していると推測される。

( $T1 - T2$ ) が負になる場合が存在するが、ランダムノイズによってサンプルの三次元座標値が全て 0 になってしまい、妨害光と誤検出したことが原因であると考えられる。

( $T1 - T2$ ) が 10 $\mu$ s を超える場合が存在するが、これは本実験装置の妨害光が LiDAR のレーザ範囲の全域に影響を与えることができず、検出漏れを起こしたことが原因であると考えられる。周期的に範囲を走査する LiDAR の測距

センサの向きが妨害光の影響範囲外にいるとき、少し遅れて妨害光の範囲内に入るため、妨害検出が遅れる。

本提案手法では、妨害光の影響を受けたサンプルは三次元座標値が全て 0 になり、そのときの点群データが使えないデメリットがある。今回使用した PPS 信号は duty 比が 10% であり、全体の 10% の時間は妨害光により点群データは取得できない。しかし、提案手法では誤検出防止を考へても連続して数サンプル分の妨害で同期検出ができるため、同期信号の duty 比を小さくすることは可能である。

## 4 まとめ

本稿では、LiDAR に対して同期信号に合わせた妨害光を用いることで高々サンプルレートの誤差で時刻情報を付与できる手法を提案した。提案手法では平均 0.5 サンプル、最大で 1 サンプルの時刻付与精度を保証できる。

市販の LiDAR として GNSS からの同期用 PPS 信号を入力することができる LIVOX AVIA を使い、点群に付与された時刻精度を検証する実験を行ったところ、平均約 6 $\mu$ s (1.5 サンプル) 分の時刻誤差があることを確認した。ただし、この時刻精度は移動体が 30m/s (時速 108km) で動いているとしても、時刻誤差に起因する位置誤差は 1.8mm に相当するため、AVIA は実用上十分な時刻精度があるといえる。

本実験の手法を用いることで、LiDAR が計測した点群の時刻に誤差が存在しても補正することが可能であるまた、廉価で低性能な LiDAR や同期信号入力を持たないような LiDAR でも、高精度に時刻情報を付与できる。

## 参考文献

- [1] P. J. Besl and N. D. McKay, "A method for registration of 3-D shapes," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 14, no. 2, pp. 239-256, Feb. 1992, doi: 10.1109/34.121791.
- [2] 豊泉 裕章 and 源田 正弘, GPS による精密 1PPS 信号出力, 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), 03854221, 一般社団法人 電気学会, 2005, 125, 8, 1217-1222.