

# 非飽和なアナログ信号処理と受光信号の立ち上がり勾配検出による誤検出の少ない測域センサ信号処理系の検討

○渡辺 敦志 (筑波大学), 山本 明人 (北陽電機株式会社), 大矢 晃久 (筑波大学)

## Signal Processing of LIDAR for Reducing False-Detection by using Non-Saturation Circuit and Ranging with Rising Slope Detection

○ Atsushi WATANABE (Univ. of Tsukuba), Akihito YAMAMOTO (Hokuyo Automatic Co.,Ltd.), Akihisa OHYA (Univ. of Tsukuba)

**Abstract**— As a major sensor for environment recognition of mobile robot system, small-sized LIDAR has been widely used. Because of the constraint of the optical system and the difficulty of signal processing, small-sized LIDAR sometimes outputs inaccurate data. This research is aiming to develop high precision LIDAR by using trans-impedance logarithmic amplifier which can realize wide dynamic-range without saturation. In this paper, method for ranging by using non-saturation analog signal processing and ranging calculation by detecting rising slope of the signal is proposed. We report the prototype of LIDAR using proposed ranging method and its evaluation.

### 1. はじめに

自動搬送台車や巡回警備ロボットなどの移動ロボットの環境認識用センサとして、レーザ光を投光して測定対象物からの反射光の到達時間を計測することで距離を測定し、これを回転させて、走査平面上の形状を測定する、レーザ測域センサが広く用いられている。現在のレーザ測域センサでは、実際には物体が無い位置にデータが誤検出されたり、形状や大きさが実際とは異なって得られる問題がある。物体が無い位置に不正確なデータが誤検出されると、移動ロボットの自己位置推定や動作計画の妨げになるため、これを識別・除去する移動ロボットの環境認識のための経験的手法<sup>[1]</sup>が研究されている。

これらの問題の原因のひとつとして、レーザ光検出に用いるアナログ信号処理系が飽和動作をするため、場合によって測距計算が正しく行えないことが挙げられる。そこで本研究では、北陽電機株式会社のレーザ測域センサ UTM-30LX をベースに、高精度なデータを取得可能な新たなセンサを開発することを目的として、非飽和で広いダイナミックレンジをもつ受光信号処理系を構築し、これにより非飽和に処理された信号を元に、アナログ信号処理系の特性を考慮した測距計算を実現する。これにより、従来のレーザ測域センサで誤検出が発生する環境でも、高精度な測域が実現できると考えられる。

本稿では、非飽和な信号復元による高精度なレーザ測

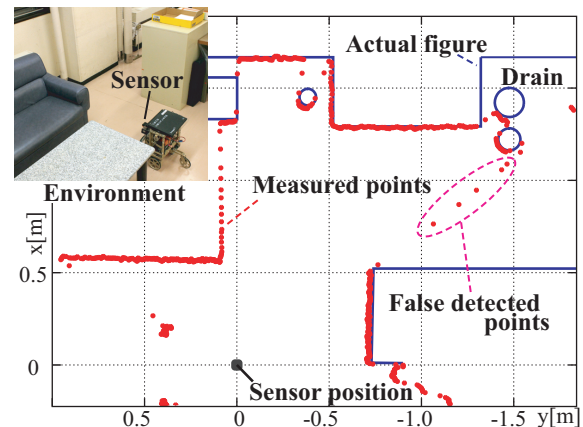


Fig. 1 An example of false detection measured by UTM-30LX

域を実現するために、設計・試作したトランスインピーダンス対数アンプと、対数アンプから得られる波形を用いた誤検出の少ない測距計算方法を提案し、その効果を実験により確認した結果を述べる。

### 2. 従来の小型レーザ測域センサで得られるセンサデータの問題

レーザ測域センサ UTM-30LX を用いて環境形状を取得した際に発生する誤検出の例を Fig. 1 に示す。この例では、棚の側面と配管の間に、距離を補間したようなデータが誤って検出されている。これは、レーザ光の広がりにより、棚の側面と配管それぞれにおいて反射が起り、それらが合成された波形が取得されるため測距

計算に失敗したと考えられる。

UTM-30LX の受光信号処理系は、出力制限付きトランスインピーダンスアンプで構成されている。この信号処理系は、信号強度が小さい動作領域では光強度に対して線形に動作するが、信号強度が大きい動作領域では回路が飽和して一定値が出力され、その間は光強度の変化を検出することはできない。そこで、UTM-30LX では、ソフトリカバリダイオードの逆回復特性を利用して、逆回復時間から光強度を求める手法を用いている<sup>[2]</sup>。これにより、5ns 程度の幅をもつ投光パルスに対して、白い壁などでの反射光に対しては、十数 ns 程度に伸びたパルス状の受光信号波形が取得される。その結果、手前と奥の反射光の分離が難しくなり、誤検出が発生しているとみられる。

### 3. 非飽和なアナログ信号処理信号処理

前章で述べたように、現在の小型レーザ測域センサで発生する誤検出は、レーザ光の広がり、受光信号処理系の飽和動作が根本的な原因であると考えられる。複数の反射光が合成された光信号波形からそれぞれの反射位置を分離・検出するためには、反射光の複数のピークが見分けられるように、非飽和な信号処理系を用いる必要がある。また、光信号波形の立ち上がり位置を正確に検出するためには、波形全体の形状を正確に測定する必要があり、元の信号の情報を失わない信号処理系であることが望ましい。そこで本研究では、トランスインピーダンス対数アンプによりダイナミックレンジを圧縮することで、元の信号の情報を失わないアナログ信号処理系を構築する。

レーザ測域センサの受光信号処理系のアンプは、UTM-30LX においては 100MHz 程度の帯域と、数 ns 程度の立ち上がり・立ち下がり時間が必要である。また、入力信号のダイナミックレンジは数 uA から 1A 程度であり、アンプには 60dB 程度のダイナミックレンジが必要となる。そこで、Analog Devices 社の無線機器用の信号レベル検出用対数アンプ AD8317<sup>[3]</sup> を用い、受光信号処理系を構築することとした。Table. 1 に、AD8317 の主な仕様を示す、

AD8317 を用いたトランスインピーダンス対数アンプの回路図を Fig. 2 に示す。試作した対数アンプの特性を確認するため、同じ距離における反射光の光強度に対する受光波形を測定した結果を、Fig. 3 に示す。通常の UTM-30LX では信号が飽和する動作領域についても、

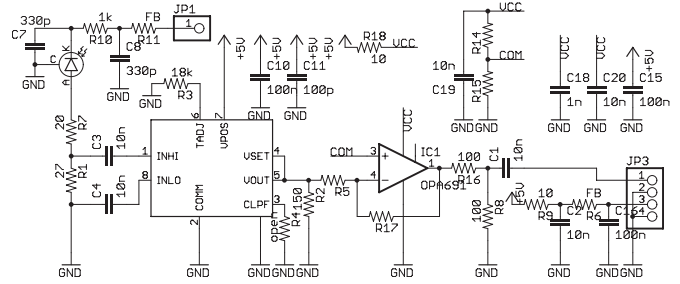


Fig. 2 Circuit of proposing logarithmic transimpedance amplifier

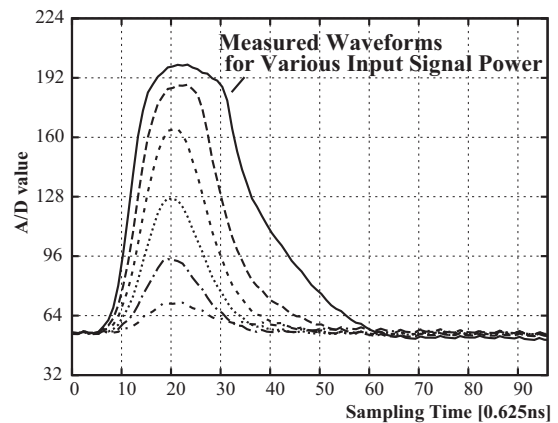


Fig. 3 Response characteristic of prototyped logarithmic transimpedance amplifier

信号レベルが飽和せずに波形を取得できることが確かめられた。

### 4. 誤検出の少ない測距計算手法

複数の距離における反射光がセンサに戻っているとき、それらの反射位置が近いと、それぞれの反射による受光信号が合成された波形が得られる。そのため、受光信号の立ち上がりエッジやピークの位置から距離を計算すると、それぞれの反射位置の中間の距離が得られる。一方で、受光信号の立ち上がりのごく初期の部分は、手前の反射位置による受光信号のみが含まれていると考えられる。そこで本手法では、受光信号の初期の立ち上がり勾配から、最初の反射位置における反射光の強度および

Table 1 Specification of RF logarithmic detector AD8317 by Analog Devices<sup>[3]</sup>

Bandwidth	1MHz to 10GHz
Pulse response time	6ns/10ns (fall/rise)
±1 dB Dynamic Range	50dB @ 900MHz

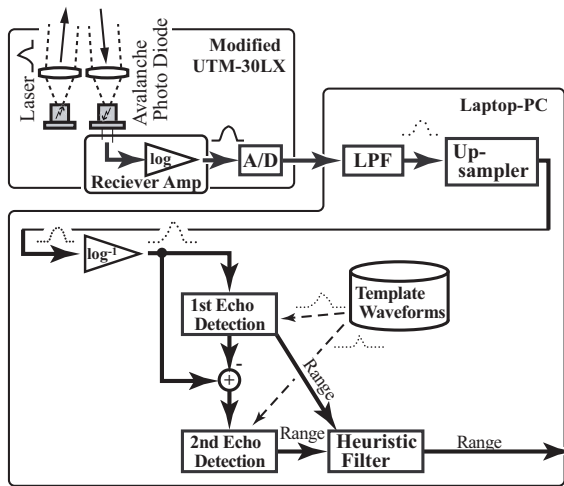


Fig. 4 Structure of proposed ranging system

び位置を検出する。また、検出した反射光の理想的な信号波形を推定し、合成されて取得された受光信号波形から差し引くことで、次の反射光についても同様に強度および位置を検出できると考えられる。

提案する測距計算手法の流れを、Fig. 4 に示す。なお、ここでは、予め取得しておいた、反射光の強度に対する受光波形と、そのときの反射位置のデータを、受光波形テンプレートと呼ぶ。ここでは、Fig. 3 の波形を含む 39 個の波形を用いた。

1. A/D 変換器で受光信号波形を取得 (1.6GHz サンプリング, 8bit)
2. LPF 適用 (780MHz カットオフ、10 次ベッセル)
3. 16 倍アップサンプリング
4. 対数表現から線形に変換
5. 信号強度 4 $\mu$ W および 6 $\mu$ W 相当の時点を探し、2 点から受光信号立ち上がりの勾配を算出
6. 算出した立ち上がり勾配に対応する、反射光の強度および反射位置を算出
7. 単一の反射しか無かった場合に得られる波形を、受光信号から差し引く
8. 5. からくり返す

反射光の強度および位置は、受光波形テンプレートから、受光信号に近い立ち上がり勾配を持つ波形を探索することで、反射位置を求める。このとき、受光波形テンプレートの波形および、受光波形テンプレート中の 2 つの波形の線形補間で求まる波形からも探索を行うことで、計算の精度を高めている。

ただし、今回の実装では、1 番目の反射位置が求まっ

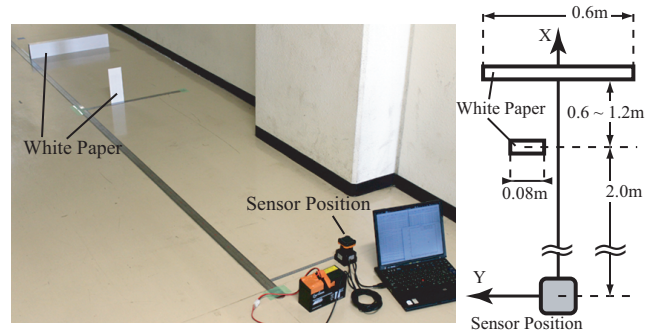


Fig. 5 Experimental environment in which conventional LIDAR usually outputs inaccurate data

たときに、1 番目の受光信号波形を差し引いた信号を精度良く推定できず、2 番目の反射位置が正しく計算できなかった。そこで、2 番目の反射位置の距離は、受光信号立ち上がりの勾配の代わりに、ピーク信号レベルを用いて受光波形テンプレートを探して計算することとした。

なお、1 番目、2 番目の反射位置における反射光が、5ns の投光パルス幅に対して半分以上重なっている条件では、強度の高い反射光によって強度の低い反射光の波形が歪められていると考えられるので、反射光の強度が低いものは破棄することにした。

## 5. 実験による評価

提案した、対数アンプによるアナログ信号処理と、誤検出の少ない測距計算手法の効果を確認するために実験を行った。実験には試作した対数アンプを組み込んだ UTM-30LX を用い、受光信号波形をラップトップコンピュータで取得して、提案した測距計算手法によりオフラインで距離を求めた。なお、試作した対数アンプから得られる信号が、電磁ノイズの影響を受けていたため、今回は受光信号波形を 16 回取得してその平均を用いて計算を行った。

第 2. 章で述べた、実際には物体が無い位置にデータが誤検出される問題を再現するため、Fig. 5 に概観を示すように、センサ正面 2.0m の位置および、その 0.6m、0.9m、1.2m 後方に白紙を設置した環境で測距を行った。

提案した手法で得られた測距データと、同環境で通常の UTM-30LX で取得した測距データの一例を Fig. 6 に示す。通常の UTM-30LX では、手前の白紙と、奥の白紙の間に誤検出が見られるが、提案した手法では削減できていることが確かめられた。

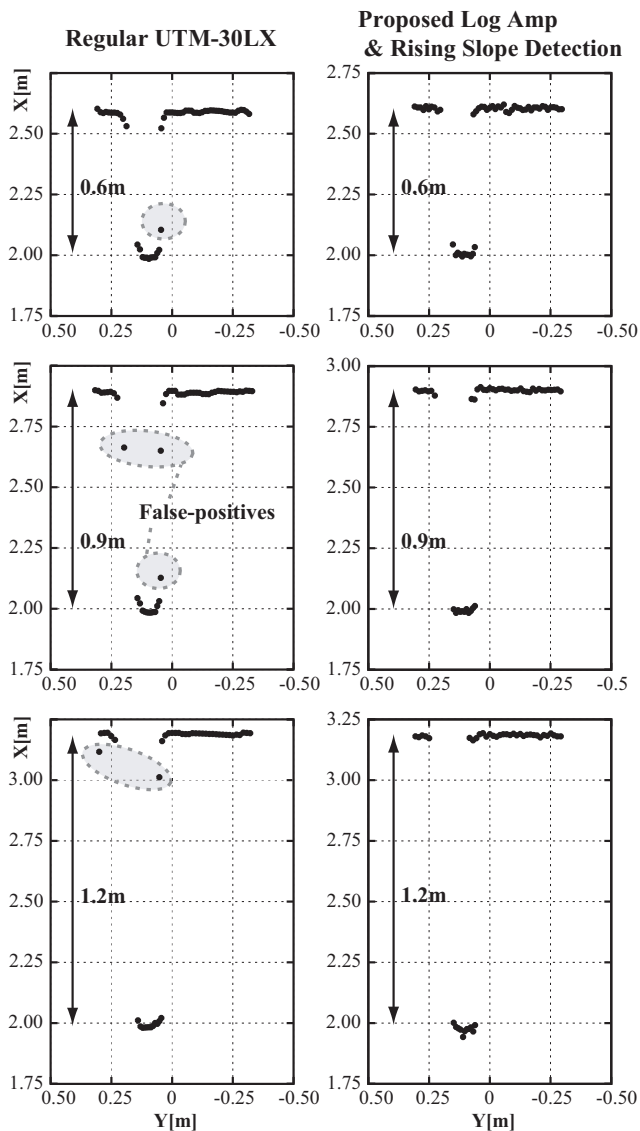


Fig. 6 Experimental result of proposed signal processing and ranging calculation

誤検出の量を評価するため、通常の UTM-30LX と提案手法について各 8 回実験を行い、白紙と白紙の間で誤検出された点の個数を測定した。提案手法を用いたとき、白紙間の距離 0.6m, 0.9m, 1.2m それぞれについて、白紙間で白紙から 5cm 以上離れた領域における誤検出は、平均で 0.13 点、0.50 点、0.63 点であった。一方、通常の UTM-30LX では、8 回の実験において平均で 3.0 点、3.38 点、2.88 点の誤検出が発生しており、提案した手法により、誤検出が平均で 86% 程度削減できることが確かめられた。なお、白紙から 10cm 以上離れた位置での誤検出は、通常の UTM-30LX で平均 1.13 点、3.00 点、1.88 点だったのに対して、提案した手法では 0 点であった。

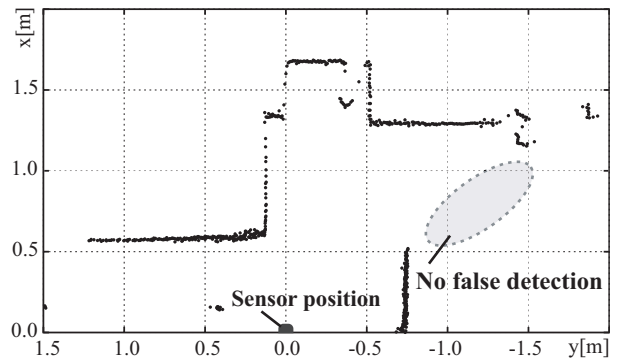


Fig. 7 Experimental result of proposed ranging calculation in the environment shown in Fig. 1

また、第 2. 章で誤検出が発生する例として示した環境で、同じ位置からデータを取得した結果を Fig. 7 に示す。実際の環境でも、通常の UTM-30LX で発生していた誤検出を、提案手法によって解決できることが確かめられた。

## 6. おわりに

本稿では、トランスインピーダンス対数アンプとによる非飽和なアナログ信号処理系と、受光信号の立ち上がり勾配および予め取得しておいた受光波形テンプレートをを用いた測距計算手法を提案した。また、提案手法を用いた測距系を試作・実装して実験を行った結果から、実際には物体が無い位置にデータが誤検出される従来の測域センサの問題を提案手法によって改善できることを確認した。

一方、実験の結果、試作した対数アンプが電磁ノイズの影響を受けやすい問題があることが分かった。今後はこの問題を解決し、また測距計算をオンラインで行えるようにして、実用可能なセンサシステムを構築する予定である。

## 参考文献

- [1] C. Ye: "Mixed pixels removal of a Laser Rangefinder for mobile robot 3-D terrain mapping", Proc. IEEE Int'l Conf. on Information and Automation, pp.1153-1158, 2008.
- [2] 北陽電機株式会社 森利宏, 日野政典: "測距装置", 公開特許公報 (A) 特開 2008-70270, 2008.
- [3] Analog Devices: "AD8317 datasheet and product info | 1 MHz TO 10 GHz, 50 dB Log Detector/Controller | Log Amps/Detectors | Analog Devices", <http://www.analog.com/en/specialty-amplifiers/log-ampsdetectors/ad8317/products/product.html>