

# 測域センサの受光強度の応用に関する研究

## - AGC 情報を用いた強度の復元 -

宮地 晃平 (筑波大), 原 祥堯 (筑波大), 川田 浩彦 (筑波大),  
大矢 晃久 (筑波大), 油田 信一 (筑波大)

## A Study on Received Light Intensity of SOKUIKI Sensor - Restoration of Intensity Using Data of AGC -

\*MIYACHI Kohei, HARA Yoshitaka, KAWATA Hirohiko,  
OHYA Akihisa, YUTA Shin'ichi  
(Univ. of Tsukuba)

**Abstract**— Recently, SOKUIKI sensor is used in various fields including robotics. SOKUIKI sensor "URG-04LX" can take distances by measurement. And by using special mode of the firmware, Received Light Intensity and AGC Voltage Level can be obtained. This paper describes a method to estimate Gray Level of scanned objects by using Received Light Intensity, and the method uses AGC Voltage Level to accurate estimation.

**Key Words:** SOKUIKI Sensor, Received Light Intensity, AGC

### 1. はじめに

近年、測域センサ（レーザ走査型距離センサ、距離画像センサなど）の開発が盛んに行われており、ロボティクス分野を始めとする様々な分野において測域センサが用いられるようになってきている。測域センサを用いた通常の測定では、センサからの距離と角度によって表されるデータが得られる。しかしこのデータのみでは、測定対象物の形状情報のみしか知ることができない。ここで測域センサの測定原理にもよるが、多くの測域センサでは光を用いて距離を測定しているため、距離情報に加えて受光強度情報を取得することが可能である。

測域センサが得る受光強度情報は測定対象物の色や材質によって変化するため、距離情報と受光強度情報を併せることにより、測定対象物の形状情報だけでなく対象物表面の色や材質などに関する情報を得ることができる。測域センサから得られる受光強度情報を用いた研究として、受光強度情報を特徴量として併用した幾何特徴の乏しい環境においても有効なマップ構築手法の研究 [1] や、受光強度情報から測定対象物の濃淡値を求めて濃淡付き三次元マップを構築する研究 [2] などが行われている。

ところが受光強度情報は測定対象物の色や材質だけでなく、センサの測定位置（測定対象物までの距離と角度）などの条件によっても変化してしまう。つまり受光強度情報は測定対象物の色や材質のみに依存した不変特徴量ではなく、センサの測定位置などにも依存した情報である。特に本研究で用いる測域センサにおいては Auto Gain Control（自動増幅率調整器、以下 AGC と記述する）を使用しているため、AGC の影響によってもセンサから得られる受光強度情報が変化してしまう。よって受光強度情報から測定対象物の反射特性などの不変特徴量を抽出するためには、受光強度情報とセンサの測定位置、AGC などの関係を明らかにすることが欠かせない。そこで本稿では、受光強度情報とこれに影響を与える複数の要素の関係を調査し、受光強度情報の性質を明らかにすることで測定対象物の反射特性などの不変特徴量を抽出することの可能性について検討する。



Fig. 1 SOKUIKI Sensor "URG-04LX" [3]

Table 1 Specifications of URG-04LX

測定距離	0.02 ~ 5.6 m
走査角度	240 deg
距離分解能	1 mm
角度分解能	約 1.05 deg *
光源	近赤外レーザ、波長 785 nm
受光強度値域 *	0 ~ 40,000 程度
AGC 電圧値域 *	0 ~ 1023
走査時間	100 ms/scan

(\* : specially changed to get Intensity and AGC Voltage Level)

### 2. 受光強度値と AGC 電圧値の取得

本稿では北陽電機（株）[3]製の測域センサ URG-04LX（以下 URG と記述する）を使用する。URG の外観を Fig.1 に、主なスペックを Table 1 に示す。なお本研究では特殊なモードである受光強度値・AGC 電圧値取得モードで URG を動作させることにより、受光強度値（Received Light Intensity）及び AGC 電圧値（AGC Voltage Level）を取得している。通常 URG の角度分解能は約 0.35 deg であるが、本研究で使用している URG においては、距離情報だけでなく受光強度値と AGC 電圧値を取得するために約 1.05 deg に変更されている。

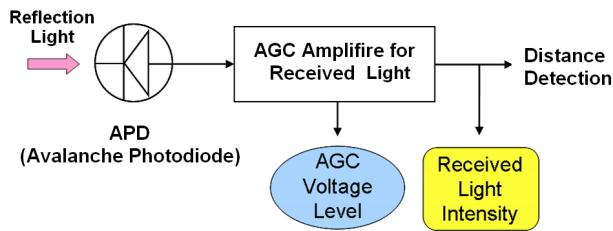


Fig. 2 Flowchart of Data Processing in URG-04LX

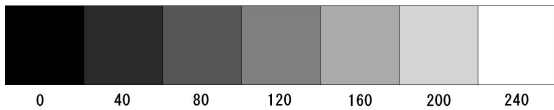


Fig. 3 Samples of Lightness

URG 内部における演算処理を簡略化して表したフローチャートを Fig.2 に示す。URG は投光素子から発光されたレーザー光が測定対象物に当たって反射した光を受光素子である Avalanche Photodiode (APD) によって受光している。そして受光した際の電圧値を信号としてアンプに入力する。URG では広ダイナミックレンジを得ることを目的として、アンプ入力信号を AGC により制御している。一定レベル以上の電圧値が入力された場合、入力電圧のゲインを下げることによってアンプの過飽和を抑制する。URG にはゲインの高低に相当する AGC の電圧値 (0~3.3 V) を 10 bit AD コンバータにより変換した値を出力するモードがあり、本稿ではこの値を AGC 電圧値と呼ぶ。受光強度がある一定のレベル以下の場合、ゲインが抑制されることがないため AGC 電圧値は高い値となるが、受光強度が高くなった場合はゲインを低く抑える働きをするため、AGC 電圧値も低い値となる。なお、実際の AGC 電圧値域は約 500~1023 となる。またアンプを通過した後の電圧値の大きさを受光強度値として取得している。

### 3. 受光強度値と AGC 電圧値の特性

本章では実験により受光強度値と AGC 電圧値の特性を調査した結果について述べる。測定対象物として、Fig.3 に示す黒から白までの 7 種類の色を印刷した紙を用いた。この黒から白までの色は、HLS 色空間における輝度 L を 240 段階で定義し、輝度 L の値を 40 毎に変化させることで作成した。このとき、色相 H と彩度 S は 0 とした。なお HLS 色空間とは、色相 (Hue)、輝度 (Lightness)、彩度 (Saturation) の 3 つの成分からなる色空間である。

測定距離を 500 mm から 3500 mm まで 250 mm 毎に変化させ、それぞれの位置において 4 回の測定を行った。なお URG の光学系は、至近距離に測定対象物が存在する場合には対象物からの反射光が受光素子に入光しにくい構造となっている。そこで本稿では測定距離の下限を 500 mm に設定し、受光強度値の低下が見られる測定距離 500 mm 未満に関しては対象外とした。また測定対象物は URG の正面に、レーザー光の入射角が 0 deg となるように設置した。この実験条件において、前述の 7 種類の測定対象物を測定して距離、及び受光強度値と AGC 電圧値を取得した。

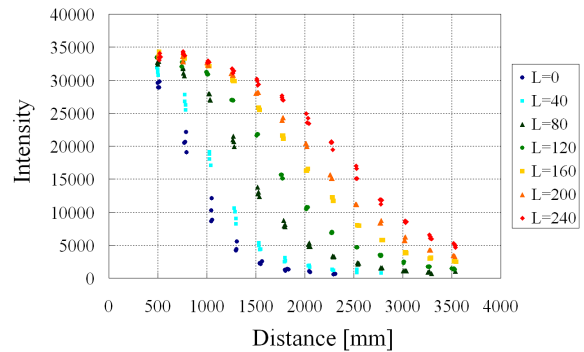


Fig. 4 Distance vs Intensity

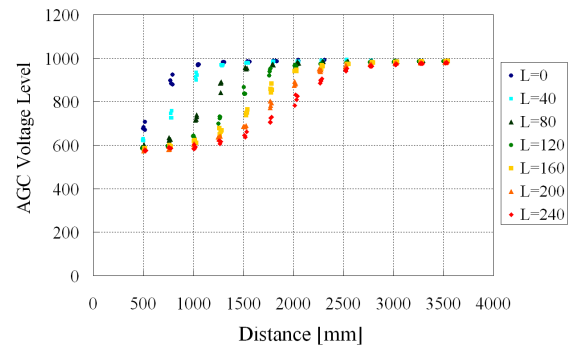


Fig. 5 Distance vs AGC Voltage Level

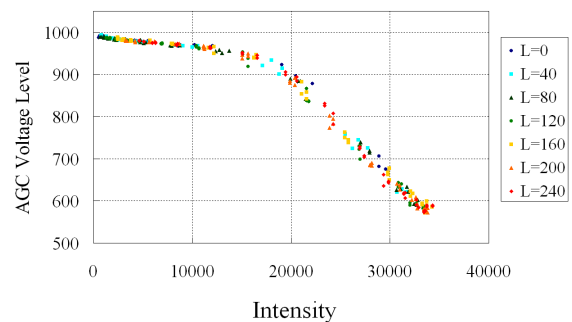


Fig. 6 Intensity vs AGC Voltage Level

以上の実験により得られた測定距離と受光強度値の関係を表したグラフを Fig.4 に、測定距離と AGC 電圧値の関係を表したグラフを Fig.5 に示す。測定距離、及び測定対象物によって受光強度値と AGC 電圧値が変化する様子が分かる。また受光強度値と AGC 電圧値の関係を表したグラフを Fig.6 に示す。前章で述べたとおり、受光強度値が高くなった場合に AGC 電圧値が低い値となっている。

次に受光強度値に近い値を示している輝度 L が 240 の測定対象物で測定距離 500 mm から 1500 mm の範囲において、測定距離 100 mm 毎に 10 回ずつ測定を行い受光強度値の標準偏差  $\sigma$  を求めた。この結果を Fig.7 に示す。図中の各プロット点が受光強度値の平均値を、バーの上端が  $+\sigma$ 、下端が  $-\sigma$  を表している。また測定距離 500 mm における測定対象物の輝度 L と受光強度値の関係を表したグラフを Fig.8 に示す。この図においても、受光強度値の標準偏差  $\sigma$  を求めて表示している。これらの結果から、

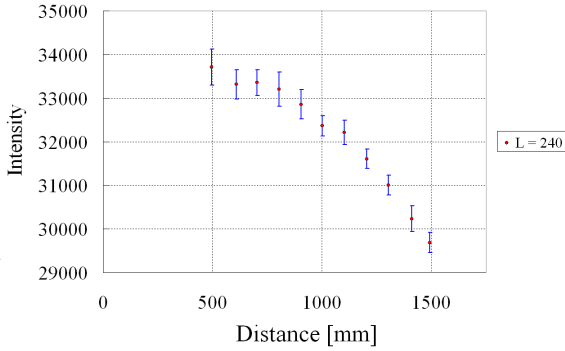


Fig. 7 Distance vs Intensity with s.d.

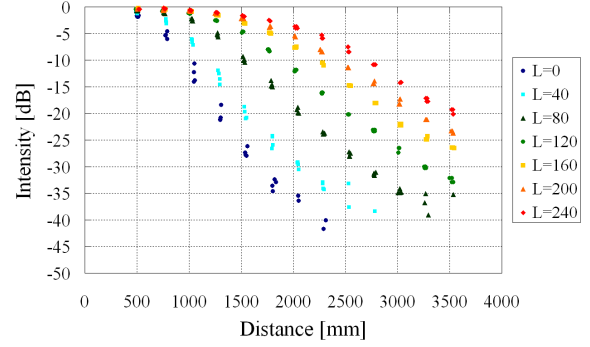


Fig. 9 Distance vs Intensity [dB]

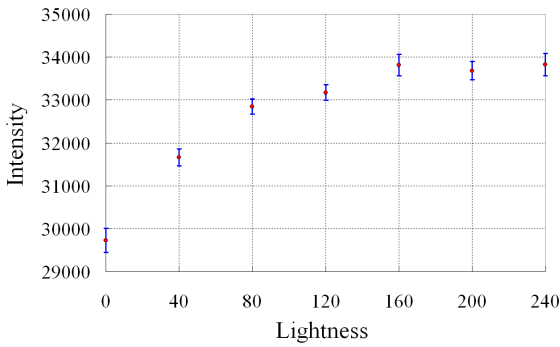


Fig. 8 Lightness vs Intensity at dist. = 500 mm

測定対象物の輝度  $L$  が大きく測定距離が短い場合には受光強度値が最大値付近に集中してしまい、測定距離や測定対象物の輝度  $L$  の違いを受光強度値から推定することが困難であると言える。なお、受光強度値の最大値は URG 毎に個体差がある。

ここで、受光強度値をデシベルで表現することを考えた。デシベルで表現する際の基準値には、受光強度値の最大値を用いる。ただし受光強度値の最大値は URG 毎に個体差があるため、本稿で用いた URG では Fig.4 などに示した実験結果より、基準値（受光強度値の最大値）を 35000 と設定した。

Fig.4 の受光強度値をデシベルで表現したグラフを Fig.9 に示す。この図は測定距離とデシベルで表現した受光強度値の関係を表している。この結果から、受光強度値の最大値（デシベルで表現した場合の 0）付近以外においては、測定距離とデシベルで表現した受光強度値の関係が直線になっていると言える。逆に言うと、測定対象物の輝度  $L$  が大きく測定距離が短い場合の受光強度値は、本来ならばより大きな受光強度値となり、測定距離とデシベルで表現した受光強度値が直線関係となるはずが、ある一定の値まで抑え込まれてしまっているように見える。この現象の原因のひとつとして、前章にて述べた AGC の働きによる影響を考慮することができる。

そこで URG から取得した AGC 電圧値を用いることで受光強度値に対する AGC の影響を軽減し、本来の受光強度情報を推定することができるのではないかと考えた。よって次章では受光強度値に対して AGC 電圧値を用いた復元を行うことで、より有効性の高い受光強度情報を推定する手法を提案する。

#### 4. AGC 電圧値を用いた受光強度の復元

文献 [4] で述べられているように、URG では AM 変調されたレーザ光を投光して投受光間の位相差から距離を求める位相差方式を用いている。すなわち受光信号の振幅が、その光の強度を表している。ただし URG から出力される受光強度値は、Fig.2 に示したアンプから出力される受光信号の振幅を 2 乗した値である。

本章では、AGC が行ったアンプのゲイン調整の影響をキャンセルし、これを正規化することにより本来の受光強度、すなわち APD からアンプに入力される受光信号の振幅を推定するための式を以下のように設計する。なお本稿では、推定した本来の受光強度を復元受光強度（Restored Intensity）と呼ぶ。

$$I_r = \frac{\sqrt{I_o}}{V_a/1023}$$

ここで、URG から出力される受光強度値を  $I_o$ 、復元受光強度を  $I_r$ 、AGC 電圧値を  $V_a$  とした。

#### 5. 受光強度復元手法の有効性評価

前章において提案した AGC 電圧値を用いた受光強度の復元手法の有効性を評価するために実験を行った。Fig.4、及び Fig.9 に示したデータを用いて、AGC 電圧値による受光強度の復元を行った。測定距離と復元受光強度の関係を表したグラフを Fig.10 に示す。また測定距離とデシベルで表現した復元受光強度の関係を Fig.11 に示す。なお Fig.10 に示した実験結果より、復元受光強度をデシベルで表現する際の基準値として 350 を用いた。これらの結果から、Fig.9 と比較して、Fig.11 に示される AGC 電圧値による受光強度の復元を行ったグラフの方が、測定対象物の輝度  $L$  が大きく測定距離が短い場合の復元受光強度が抑え込まれることなく、測定距離とデシベルで表現した復元受光強度の関係が直線になっている部分が多いと言える。

次に Fig.7 に示した、輝度  $L$  が 240 の測定対象物で測定距離 500 mm から 1500 mm の範囲において測定距離 100 mm 毎に 10 回ずつ測定を行ったデータを用いて、測定距離とデシベルで表現した受光強度値の関係を表したグラフを Fig.12 に示す。また同じデータを用いて AGC 電圧値による受光強度の復元を行い、測定距離とデシベルで表現した復元受光強度の関係を表したグラフを Fig.13 に示す。これらの結果から、AGC 電圧値による復元を行うことで受光強度の標準偏差が多少小さくなっていることが分か

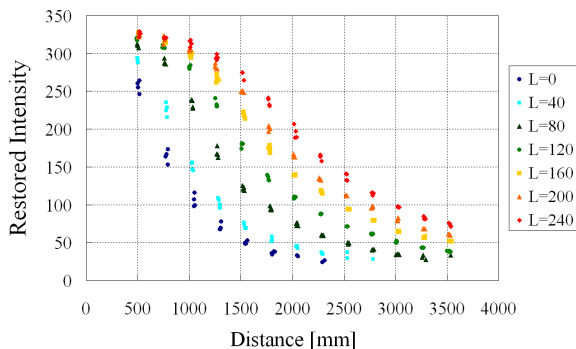


Fig. 10 Distance vs Restored Intensity

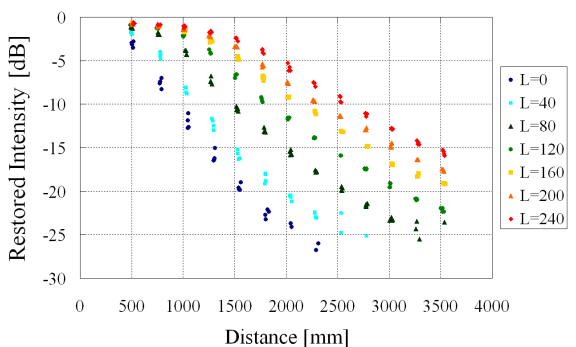


Fig. 11 Distance vs Restored Intensity [dB]

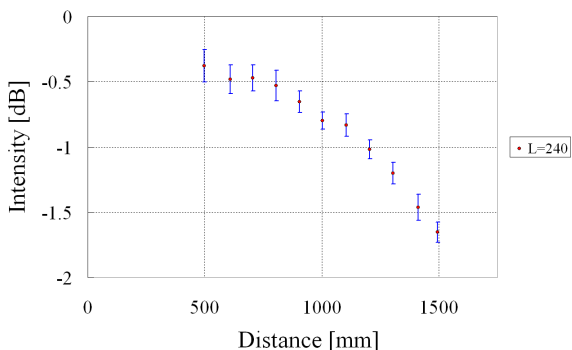


Fig. 12 Distance vs Intensity [dB] with s.d.

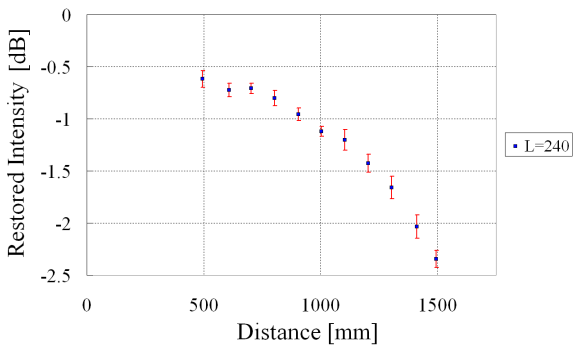


Fig. 13 Distance vs Restored Intensity [dB] with s.d.

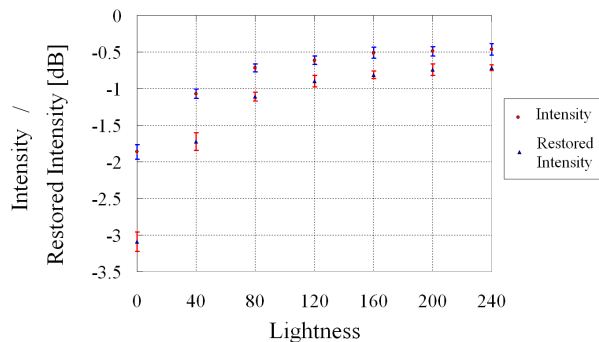


Fig. 14 Lightness vs Intensity / Restored Intensity [dB] at dist. = 500 mm

る。つまり AGC 電圧値による受光強度の復元を行うことで、測定距離の違いに対する信頼性が多少良くなったように見える。

また Fig.8 に示したデータを用いて、測定距離 500 mm においての測定対象物の輝度  $L$  とデシベルで表現した受光強度の関係を表したグラフを Fig.14 に示す。受光強度の標準偏差  $\sigma$  を求め、バーにより表示している。また図中の各プロット点は受光強度の平均値である。赤いプロット点と青いバーにより表されているのが URG から取得した AGC 電圧値、青いプロット点と赤いバーにより表されているのが復元受光強度である。この結果から AGC 電圧値を用いた受光強度の復元を行うことで、測定対象物の輝度  $L$  の違いに対する受光強度の違いが明確になり、受光強度から測定対象物の輝度  $L$  を推定することの信頼性を多少良くすることが可能であると考えられる。

## 6. まとめ

本稿では、受光強度情報とこれに影響を与える複数の要素の関係を調査した。また、測定対象物の反射特性などの不変特徴量を抽出することの可能性について検討した。HLS 色空間で表される黒から白までの 7 種類の色の測定対象物に対して実験を行った結果、AGC 電圧値を用いた受光強度の復元を行うことで信頼性を向上させ、受光強度と測定距離などの情報から測定対象物の輝度  $L$  を推定することが可能ではないかと考えられる。今後の課題としては、受光強度情報、測定距離、AGC 電圧値、及びレーザー光の入射角などの情報から、測定対象物の反射特性を推定する手法の検討が挙げられる。

## 参考文献

- [1] 原 祥亮, 川田 浩彦, 大矢 晃久, 油田 信一: "測域センサの受光強度付きスキャンデータを用いた移動ロボットのための環境マップ構築", 第 12 回ロボティクスシンポジウム, 2007.
- [2] 蜂谷 孝治, 前山 祥一, 田中 豊: "測域センサ「URG」の反射強度出力を用いた濃淡付き三次元環境地図の構築", SICE 第 7 回 SI 部門講演会 (SI'06), 2006.
- [3] 北陽電機株式会社  
<http://www.hokuyo-aut.co.jp/>
- [4] Hirohiko Kawata, Akihisa Ohya, Shin'ichi Yuta, Wagle Santosh, and Toshihiro Mori: "Development of Ultra-Small Lightweight Optical Range Sensor System", Proc. of IROS'05, 2005.