

マルチエコーを取得可能な測域センサの性質に関する研究 -雨、煙、シャッターがある環境における測定結果-

Characteristics of the SOKUIKI sensor capable of detecting multi-echo -The measurement result in the environment which has the rain, the smoke and the shutter-

佐藤 功太（筑波大） 〇正 大矢 晃久（筑波大）

Kota SATO, University of Tsukuba, ksato@roboken.cs.tsukuba.ac.jp
Akihisa OHYA, University of Tsukuba, ohya@cs.tsukuba.ac.jp

We study on characteristics of the SOKUIKI sensor capable of detecting multi-echo. This sensor can measure two or more distances for the single direction, and can acquire much information compared with the conventional sensor. We investigated what kind of measurement result is actually obtained under the following experiment's environment. 1. Measurement of the environment where it is raining. 2. Measurement of the object through a shutter. 3. Measurement inside a room where the smoke is filled.

Key Words: SOKUIKI sensor, multi-echo

1. はじめに

本研究では、北陽電機株式会社によって開発された、マルチエコーを取得可能な測域センサ（以降マルチエコーセンサと記述）の性質について調査した。マルチエコーセンサとは、単一方向のレーザ光で複数の反射光を測定することができるものであり、従来の測域センサと比べて多くの情報を取得することができる。このマルチエコーセンサの性質を確かめるために、以下の環境下でマルチエコーセンサによって測定した際にどのような測定結果が得られるかについて調査した。

1. 雨が降っている環境の測定
2. シャッター越しにおける環境の測定
3. 煙が充満した部屋内での測定

本原稿では、これらの環境下におけるマルチエコーセンサの測定結果とその有効性について述べる。

2. マルチエコーを取得可能な測域センサ

2.1 マルチエコーセンサとは

北陽電機社製のレーザ式測域センサは、内部にあるミラーを回転させることでレーザ光を走査し、二次元平面上をスキャンする。レーザ光を投光してから反射光（エコー）を受け取るまでの時間によって、センサから物体までの距離値が得られるものである。この時、投光されたレーザの照射方向に光透過物質や物体の境目、雨や霧、雪などがあると、それらの物体からのエコーがある一方、その先にもレーザが照射される。後者のレーザの先に物体があった場合、双方からエコーが返ってくることになる（図1）。この時、それぞれのエコーから距離値を算出可能なセンサをマルチエコーセンサと呼ぶ。

従来の測域センサでは、最初に返るエコーから距離値を算出するのに対し、マルチエコーセンサでは複数のエコーが返ってくる際に、それぞれに対して距離値を得ることが出来る。そのため、光透過物質や物体の境目、雨や霧、雪などによるノイズの影響に強いという特徴がある。

2.2 使用する測域センサ

本研究では、マルチエコーを取得可能な測域センサとして、北陽電機が開発中の UTM-30LX-EW を用いる。UTM-30LX-EW は北陽電機の測域センサ UTM-30LX(Top URG)[1]と同じ仕様となっており、この Top URG でマルチエコーが取得できるように拡張したものが UTM-30LX-EW となっている。

UTM-30LX-EW ではマルチエコーを取得可能な数は、最大 3 つまでとなっている。しかし、UTM-30LX-EW はまだ製品化されていない評価版であり、ここで記す製品名や仕様は製品版で変更の可能性がある。

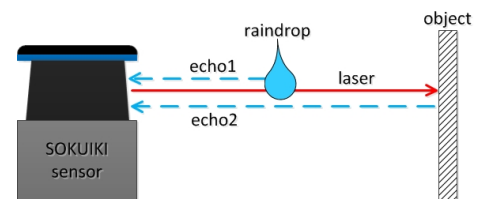


Fig. 1 The multi-echo acquisition

3. 雨が降っている環境の測定

マルチエコーセンサの利用の一例として、まず、雨が降っている場合の有効性について検討した。元々、マルチエコーセンサは、雨が降っている環境下において、雨からのエコーを取得した場合でも、さらに雨の奥にある物体からのエコーも取得できるようにするため開発されたものである。

そのため、まず雨そのものからエコーが返るのかと、その時に雨の奥にある物体が測定されるかを、実際の実験によって確かめることにした。以降では、実験環境について説明し、その時の実験結果を示す。

3.1 実験環境と実験条件

実験環境として、大学構内において、雨越しに建物の壁を測定するように実験を行った（図2）。なお、実験時の降水量は毎時 9mm であり、比較的強い雨が降っている状況で測定を行った。

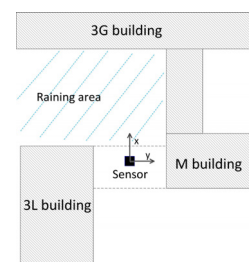


Fig. 2 Experiment's environment when measuring the rain

3.2 測定結果

2秒間におけるセンサの全80回のスキャンデータをプロットしたものを図3に示す。また、図3のデータの内、ある時刻の1スキャン分のデータをプロットしたものを図4に示す。図3、4において、赤の点はマルチエコーを取得した時に一番短い距離値であり、緑の点は二番目の距離値であり、青の点は三番目の距離値である。

図3において、センサ近くに現れている赤の点は雨から返ってきたエコーを示しており、雨からエコーが取得可能であることが確認できる。また、測定結果から、雨から取得されるエコーはセンサから近い雨からのみであることが分かる。

次に、図4の破線部分の拡大図を図5、6に示す。ここで、図5は最初に得られたエコーのみをプロットしたものであり、図6は全てのエコーをプロットしたものである。図6の緑の点は、一番目のエコーが雨を測定し、その後壁から返ってきたエコーの点を示している。これに対して、図5は、壁からのエコーに対応する緑の点が消えており、雨によって壁から返ってくるエコーが取得されていないことがわかる。つまり、従来の測域センサでは、雨が降っている環境において、雨からエコーを取得した場合に、その奥にある物体からのエコーが取得できない。それに対して、マルチエコーセンサでは雨からのエコーを取得した場合でも、その奥の物体からのエコーも取得できるため、環境の情報を欠落することなく測定可能と言える。

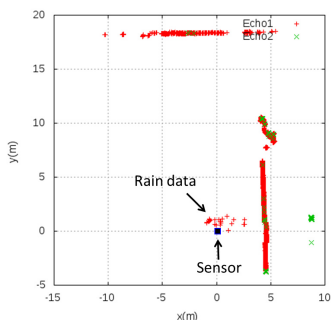


Fig. 3 All scan's data while 2 seconds

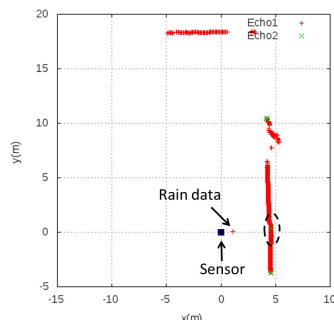


Fig. 4 One scan's data

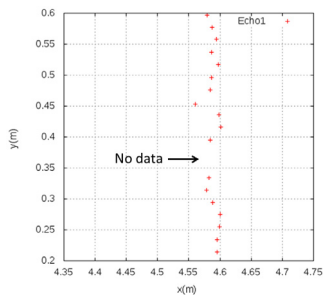


Fig. 5 Enlarged view of the dashed line of Fig.4(plotting the first echo only)

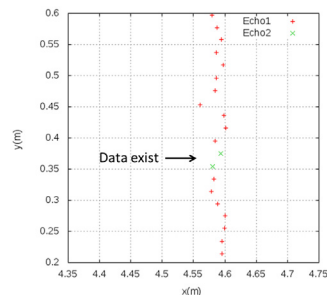


Fig. 6 Enlarged view of the dashed line of Fig.4(plotting all echo)

4. シャッター越しにおける環境の測定

通常の測域センサによる測定では、一番近い反射点しか測定されないのに対して、マルチエコーセンサでは複数の反射点を測定することができる。そのため、通常の測域センサよりも多くの情報を取得することができる。

そのような一例として、シャッター越しにその奥の環境を

測定する場合に、マルチエコーセンサによる情報取得が有効ではないかと考えた。具体的に、通常の測域センサによってシャッター越しにその奥の環境を測定しようとした場合、レーザがシャッターに当たるとそのシャッターからエコーが返ってくるため、シャッターの奥からのエコーが取得されないことになる。さらに、このセンサから照射されるレーザの口径は大きく、これらの状況は頻繁に起こると考えられる。それに対して、マルチエコーセンサでは、レーザがシャッターに当たった場合でも、シャッターから返ってくるエコーとその奥から返ってくるエコーの両方を取得できるため、通常の測域センサよりも多くの情報を取得できることが考えられる。

そこで本節では、実際にマルチエコーセンサを使って、シャッター越しにその奥の環境を測定した場合に、どのような測定結果が得られるかと、その環境におけるマルチエコーセンサの有効性について評価する。

4.1 実験環境と実験条件

測定環境として、大学構内のシャッターが使用されている環境にて、シャッターが有る場合と無い場合で測定を行った(図7)。この環境では、店舗のショーウィンドウやガレージなどで使用されるパイプシャッターが使用されている(図8)。

実験方法として、ロボットにマルチエコーセンサを取り付け、ロボットの移動量を基に三次元点群を取得する。センサは地面に対して垂直となるように設置している。ロボットの操作はコントローラを使い、速度が一定となるように、またシャッターに対して平行となるように真っ直ぐに走らせた。また、センサからシャッターまでの距離を3mにして測定を行った。

4.2 測定結果とその評価

シャッターがない場合の測定結果を図9に、シャッターがある場合の最初のエコーのみをプロットした測定結果を図11に、シャッターがある場合の全てのエコーをプロットした測定結果を図13に示す。ここで、図9~13において、赤緑青の点は図3の表記に従う。

評価として、各測定データにおいて、図15で示されるシャッターの奥の環境に対応する赤の破線エリアの点群数を比較することで行う。この領域では、各測定においてスキャン回数は近い値になっている。各測定データの中で評価エリアに対応する点群をプロットしたものが、図10~14である。

まず、シャッターが無い場合の測定結果である図10とシャッターが有る場合の最初のエコーのみをプロットした計測結果である図12を比べると、明らかに図12の点群密度が少ないことが見て取れる。

次に、シャッターが無い場合の測定結果である図10とシャッターが有る場合の全てのエコーをプロットした計測結果である図14を比べると、シャッターが有った場合でもそれほど点群密度が変わっていないように見て取れる。実際に、シャッター無い場合の測定結果である図10の点群数は72487点であり、シャッターが有る場合の最初のエコーのみをプロットした計測結果である図12の点群数は22235点となっており、シャッターが有ることで取得できる情報量が極端に少なくなることを示している。これに対して、シャッターが有る場合の全てのエコーをプロットした計測結果である図14の全点群数は63470点となっており、従来の測域センサと比べマルチエコーセンサを使うことで取得される情報量が約3倍増えることを示している。

これらのことから、シャッター越しにその奥にある環境を

マルチエコーセンサを使って測定することで、従来の測域センサよりも多くの情報量を取得することができ有効であると言える。



Fig. 7 Experiment's environment (Real image)



Fig. 8 The pipe shutter with shutter (Real image)

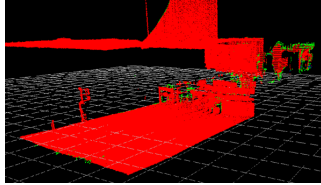


Fig. 9 Measurement results of all echo data with no shutter

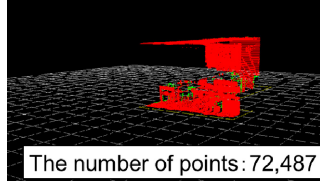


Fig. 10 Measurement results of all echo data with no shutter (plotting only the points of the evaluation area)

The number of points: 72,487

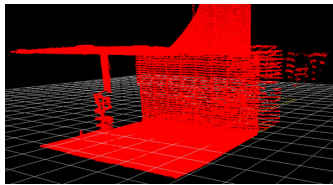


Fig. 11 Measurement results of all echo data with shutter

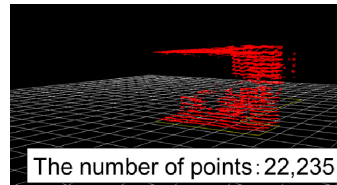


Fig. 12 Measurement results of first echo data with shutter (plotting only the points of the evaluation area)

The number of points: 22,235

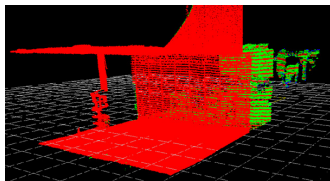


Fig. 13 Measurement results of all echo data with shutter

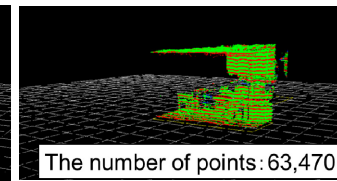


Fig. 14 Measurement results of all echo data with shutter (plotting only the points of the evaluation area)

The number of points: 63,470

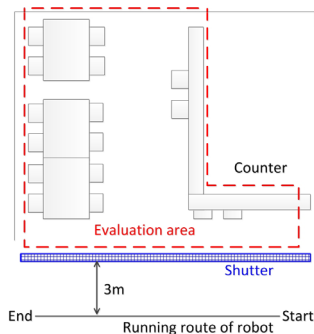


Fig. 15 The evaluation area in Experiment's environment

5. 煙が充満した部屋内での測定

次にマルチエコーセンサの利用の一例として、煙が充満した環境における環境情報の取得が有効ではないかと考えた。具体的には、環境に煙が充満していた場合、従来の測域センサでは最初に煙からのエコーが取得されることで、その奥にある環境からのエコーが取得できなくなるのに対して、マルチエコーセンサでは煙の奥にある環境からのエコーも取得できるのではないかと考えられる。そのため、環境に煙が充満していた場合でも、マルチエコーセンサでは環境認識が可能であると考えられる。

そこで、マルチエコーセンサを使って、環境に煙が充満していた場合どのように測定されるかについて、実際の実験により確かめた。以降では、実験環境と実験条件を説明し、その時の実験結果を示す。

5.1 実験環境と実験条件

実験を行う場所として、東京都北区防災センターにて実験を行った。この施設の体験コースの一つとして、煙が充満する部屋での体験コースがあり、この部屋を実験場所としてお借り頂く事で実験を行った。実験環境を図 16 に示す。この部屋では、ある一定量の煙を何度も出すことができ、二度煙を吐煙させると、人間の目で見ても 1.5m 先が見えない状態になる(図 17)。実験では、図 16 のようにセンサを設置し、一定量の煙を二度吐煙させるまでのマルチエコーセンサと従来の測域センサである Top URG の測定結果を記録することにした。

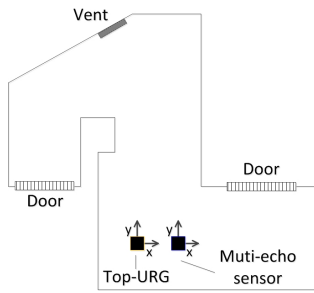


Fig. 16 Experiment's environment (Top view)



Fig. 17 Experiment's environment filled with smoke image

5.2 測定結果

記録した測定データのサンプルとして、煙が吐出された瞬間を開始時間とした時の 0 秒後の測定結果を図 18, 19 に、2 分 15 秒後の測定結果を図 20, 21 に、3 分 21 秒後の測定結果を図 22, 23 に、4 分 18 秒後の測定結果を図 24, 25 に、6 分 39 秒後の測定結果を図 26, 27 に示す。ここで、図 18~27 において、赤緑青の点は図 3 の表記に従う。

まず、吐煙時の測定結果である図 18 と図 19 は煙が無い状態の測定結果であるため、部屋の形状のみが取得されているのがわかる。次に、吐煙から 2 分 15 秒後の測定結果である図 20 と図 21 は煙が出始めた時の測定データを示している。そのため、Top URG の測定結果である図 20 では部屋の形状ではなく煙と思われるものがとれている事が見て取れる。一方、その時のマルチエコーセンサの測定結果である図 21 では、赤の点で表される点で煙と思われるものがとれているものの、緑の点で表される点によって部屋の形状を取得しているのが見て取れる。

次に、吐煙から 3 分 21 秒後の Top URG の測定結果である図 22 を見ると、センサの周りが丸く覆われたようなデータが測

定されている。これは、煙がセンサの周りに充満し、その煙からのエコーのみしか取得できなくなったためこのような結果となったと思われる。この時も、マルチエコーセンサの測定結果である図 23 では、丸く覆われたデータだけではなく、その奥にある環境情報も取得しているのが見て取れる。

これらのことから、通常の測域センサでは煙によって環境情報が取得できなくなるが、マルチエコーセンサでは煙の奥にある物体を測定することができることが分かった。しかし、図 25, 27 のように、測定時間が経過していく(煙が充満していく)につれて、マルチエコーセンサを利用して、煙によって遮断され環境情報が取得し難くなっていくことが分かり、図 27 では完全に取得できなくなっている。そのため、マルチエコーセンサを利用したとしても、環境にある一定量の煙の濃度があつた場合、取得できなくなるということも分かった。

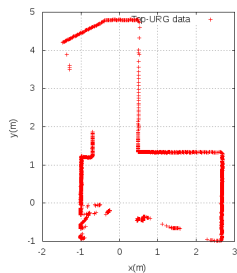


Fig. 18 Top URG data (0 seconds)

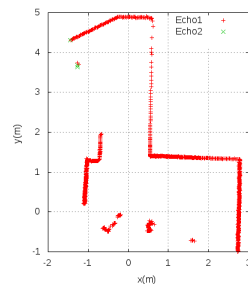


Fig. 19 Multi-echo sensor's data(0 seconds)

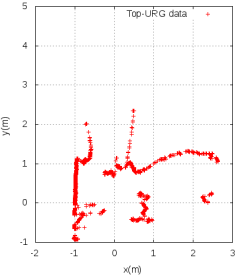


Fig. 20 Top URG data (2 minutes and 15 seconds)

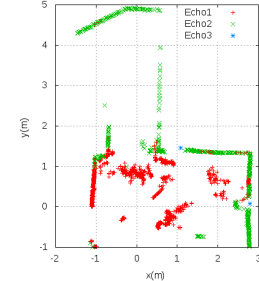


Fig. 21 Multi-echo sensor's data(2 minutes and 15 seconds)

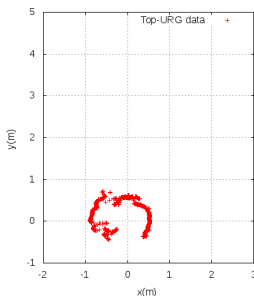


Fig. 22 Top URG data (3 minutes and 21 seconds)

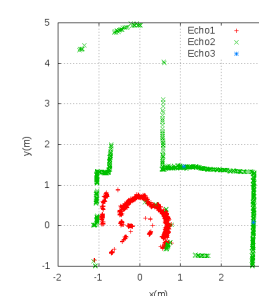


Fig. 23 Multi-echo sensor's data(3 minutes and 21 seconds)

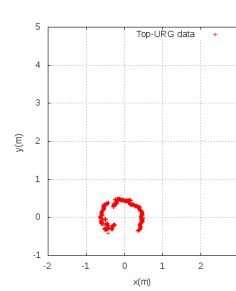


Fig. 24 Top URG data (4 minutes and 18 seconds)

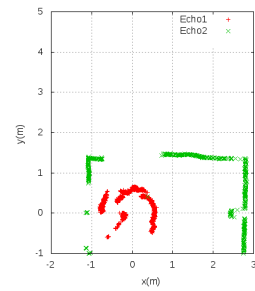


Fig. 25 Multi-echo sensor's data(4 minutes and 18 seconds)

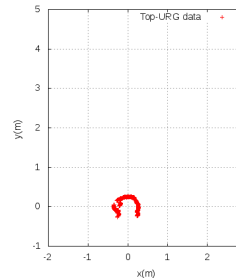


Fig. 26 Top URG data (6 minutes and 39 seconds)

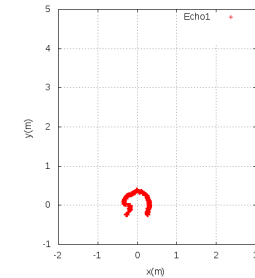


Fig. 27 Multi-echo sensor's data(6 minutes and 39 seconds)

6. まとめ

本研究では、マルチエコーセンサの性質を見るために、雨が降っている環境、シャッター越しの環境、煙が充満した部屋内に対して測定を行った。雨が降っている環境の測定では、センサで雨が測定されることと、マルチエコーセンサでは雨の奥にある物体も測定されたことを確認した。シャッター越しの環境の測定では、マルチエコーセンサによって、シャッター奥の環境情報を多く取得できることが分かった。煙が充満した部屋内の測定では、煙の濃度による可否はあるものの、マルチエコーセンサによって煙の奥の環境も測定できることが確認できた。

謝辞

本論文で行われた煙の中の実験は東京都北区防災センターの協力を頂くことで行われた。ここに、実験場所を提供して頂いた防災センターの職員の方々に感謝の意を表する。

文 献

- [1] 北 陽 電 機 株 式 会 社 「 UTM-30LX の 仕様」: <http://www.hokuyo-aut.co.jp/02sensor/07scanner/utm%2030lx.html>