

超音波距離センサを用いたものの形の特定

太田 康平^{1,a)} 串田 高幸¹

概要：現在，物体検知，物体検出，形の特定は自然画像データをもとにディープラーニングの技術を使うことが一般的になっているが，ディープラーニングでは処理の負荷の大きさや導入コストがかかる．[1] また，画像データでは明暗によって画像処理が困難になる．これらの問題を解決するため，本研究では物体を複数の超音波距離センサを物体周囲に設置し，その得られたセンサデータをもとにサーバ上で形の特定することを提案する．

1. はじめに

現代ではものをインターネットにつなぐ技術 (Internet of Things: 以下 IoT とする) が発達している．また，IoT 社会が進む中自動運転技術が発達している．[1] それらの技術を使用する中で形の解析の技術を必要とする事業がある．例えば，自動運転技術で用いられる歩行者や車，建物，電柱の障害物検出 [2] や工場の製造ラインの食品の異物検知，商品のラベル検査に用いられている．しかし，画像解析では抽出した画像の明暗や画質によって正確な結果がでない可能性がある．また，画像データはデータ量が巨大なため対応のメモリとストレージの需要が必要である [3]．本レポートで実行する形の解析では超音波センサを用いるため画像解析と比べて低コストで行うことが可能である [4]．超音波センサは自動車の障害物検知や工場の商品の検査のゆがみ検出に利用されている．本実験では超音波距離センサは HC-SR04 を使用する．HC-SR04 の概要は 3 章にて説明する．物体との距離を測るセンサは超音波距離センサ以外にも赤外線距離センサがある [5]．しかし，赤外線距離センサは赤外線の光の反射をもとに距離を計測しているため誤差の検出が難しく精度も超音波距離センサより低いので本実験では使用しない．また，超音波距離センサは距離を計測だけでなく，ドップラー効果を用いてものや人の動きの速度を計測することも可能である．超音波距離センサは超音波の跳ね返りを利用して距離計測している．超音波距離センサは画像処理と異なり明暗の環境を受けないので，夜間の自動運転の障害物検出に役立てられる．本実験では超音波距離センサの特徴を活用して物体の凹凸を検出する．なお，超音波距離センサは超音波の跳ね返りを利用して距離を測定

しているため，検出する物体の表面が曲線や不規則な角では超音波が乱反射してしまう．

本実験では使用する物体は凹凸が直線であるものを使用する．物体は 2 つの超音波距離センサの間に設置する．形の分析方法は測定する物体を動かし，各超音波距離センサと物体間の距離をそれぞれセンサで取得し分析用のサーバに送信されるように設計する．その得られた分析結果をもとに評価，考察を行う．2 章の関連研究では超音波距離センサを使用した物体検出とものの形の分析の研究や距離センサを 3 D スキャナに応用した研究を取り上げる．3 章では本実験の提案手法を説明する．4 章では実験の概要と方法を説明する．5 章では 4 章の実験結果をもとに評価を行う．6 章ではこれまでのまとめと今後の展望について述べる．

2. 関連研究

超音波距離センサである HC-SR04 はオブジェクトを検出できる最大範囲は 4m である．また，その距離は二点間の距離によって定まる．また，センサから発生する超音波は 20kHz 以上の周波数であり，物体との距離が適正でない正確な値がでない [6]．

センサと物体との距離を計測する場合，中距離 (2.5cm) の距離測定は赤外線センサーと超音波センサが適している [7]．

超音波センサは 3 D 表示の環境マッピングのために役立てられる．超音波 3 D スキャナの原理で動作する 3 つの超音波距離センサとサーボモータを用いて環境をスキャンし，そのスキャンされた環境を 3 D 平面にマッピングする [6]．表面マッピングには超音波距離センサやマイクロコントローラに加えて無線周波数 (RF) モジュールを使用して行った実験もある [7]．

実用目的としてマンホールやトンネルの事故の捜索救助

¹ 東京工科大学コンピュータサイエンス学部
CDSL, TUT, Hachioji, Tokyo 101-0062, Japan
a) C0117066

活動を目的として超音波距離センサで現場を 3D マッピングするロボットの研究がある [8]. [9].

3. 提案

3.1 HC-SR04 センサの原理

本研究で使用する超音波距離センサは HCSR-04 である. このセンサの仕様を表 1 に, 端子の構成を表 2 に示す.

測定範囲	2 400cm
電圧	5.0V
動作電流	15mA
動作周波数	40kHz
トリガ信号	10 μ S
サイズ	45 x 20 x 15mm

Vcc	電源入力 (5V)
Trig	超音波信号を送信
Echo	超音波信号を受信
GND	グランド端子 (0V)

この超音波センサは超音波信号を出力ピンから発生させ, 入力ピンで物体から跳ね返ってきた超音波を受信する. また, 物体との距離を求める計算式を (1) の式に示す. なお音速は $340[\text{m/s}] = 34000[\text{cm/s}] = 0.034[\text{cm}/\mu\text{s}]$ とし, T は物体との距離 $[cm]$, t は超音波信号を Trig 端子で発生させてから Echo 端子で受信するまでの時間 $[\mu\text{s}]$ とする.

$$T = 0.034t/2 \quad (1)$$

HCSR-04 から発生させた超音波信号を対象となる物体に跳ね返り, 帰ってきた超音波信号を受け取るまでの時間とで接続するマイクロコントローラで (1) の計算式を用いて処理することで物体との距離を求めることが可能である.

3.2 提案手法

今回の研究で提案するシステムは超音波距離センサ (HC-SR04) を 2 つ用いて物体の凹凸を検知することである. 前提条件としてマイクロコントローラは Raspberry Pi Zero を使用し, 1 つの Raspberry Pi Zero に 2 つの超音波距離センサを接続する. 超音波距離センサと検知対象の物体との初期配置図を図 1 に示す. 検出対象とする物体 Object は HCSR-04 センサの超音波信号で検出できる物を Object とする. 2 つの HCSR-04 センサ A,B と物体の中央線までの距離 L が等しくなるように設置する. また, HCSR-04 センサとオブジェクトの側面までの距離 ℓ, ℓ' は HCSR-04 センサの測定範囲内である 4cm 以下とする. 初期状態では図 1 の示すように 2 つのセンサ A,B 間には位置していない. HCSR-04 のセンサは Object との距離を計測する前に

起動している状態である. マイクロコントローラで得るセンサデータは A,B 2 つの HCSR-04 のセンサの間の距離を計測しているため, 常に等しい値を取得する.

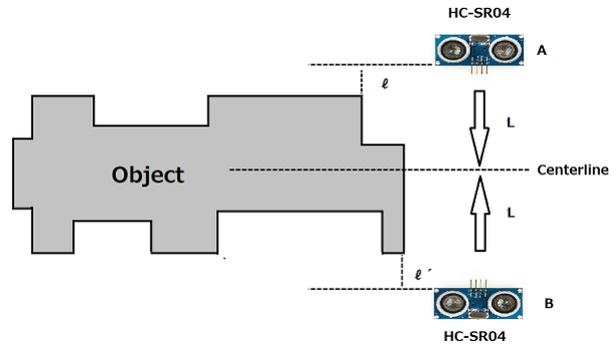


図 1 初期配置

図 2 では 2 つの HCSR-04 のセンサと Object 間の距離を計測するときの配置図である. 2 つの HCSR-04 のセンサの位置は図 1 と変化していないものとする. Object をスキャンする際は HCSR-04 センサの位置を変更するのではなく Object 自体を矢印の方向に移動させ, センサと Object 間の距離のデータを得る. また, Object を移動させるには速度が一定かつ矢印の進行方向のみ動作する等速直線運動である必要がある. なぜなら, Object の移動速度が一定でないと Object の凹凸の変化をうまく検出できないからである.

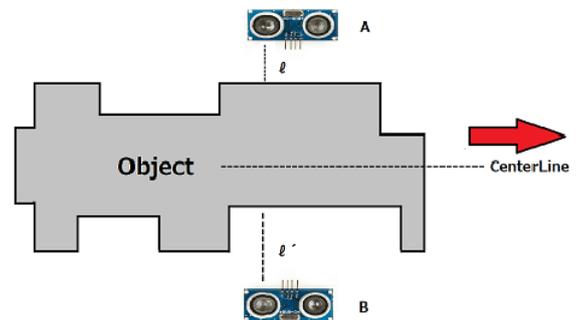


図 2 物体とセンサ間の距離計測時

図 3 は Object が 2 つの HCSR-04 のセンサの間を通り抜け, すべての範囲の計測が終了した時の配置図である. HCSR-04 のセンサの位置は図 1, 2 と同様に変更されて

いない。計測終了時は2つのHCSR-04のセンサA,BとObjectとの距離はそれぞれ同値のデータを得る。なので、図1の初期状態のLを足した距離と図3のHCSR-04センサとオブジェクトの側面までの距離 ℓ , ℓ' の合計した値は等しくなる。よって(2)の式が成立する。

$$2L = \ell + \ell' \quad (2)$$

図3の状態では2つのHCSR-04のセンサデータを受信したマイクロコントローラの処理した合計値が(2)の式が成立する場合、Objectの凹凸の計測終了とする。

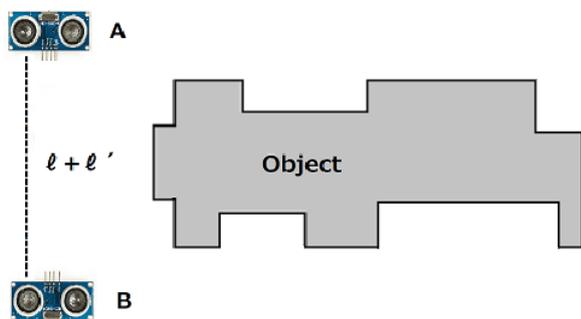


図3 計測終了時

計測したセンサデータはSQLサーバに送信し分析される。分析方法は4章にて説明する。

4. 実装

4.1 ソフトウェア構成

提案するシステム全体のソフトウェアの構成図を図4に示す。Raspberry Pi Zeroでは主に2つのHCSR-04センサのセンサデータの取得とデータベースサーバへの送信を行っている。センサデータを送信するプログラム(Send Control Program)では取得したセンサデータはjson形式でPythonを用いて送信するものとする。本提案するシステムで用いるサーバは著者の研究室サーバの仮想マシンをサーバとして用いる。サーバ側でのセンサデータの取得を行うプログラム(Receive Control Program)ではRaspberry Pi Zeroから送信されたjsonファイルをPHPのプログラムで受信する。受信したセンサデータを格納するデータベースはMySQLを使用し、そのデータベースの格納が終了したタイミングでものの凹凸の分析をするプログラム(Analyzing Object Program)が実行される。Analyzing Object Programはデータベースの値をグラフ化しそのグラフをもとにして凹凸の検出を実行する。また、分析結果は画像ファイルとしてWeb UIに表示される

ものを想定とした。

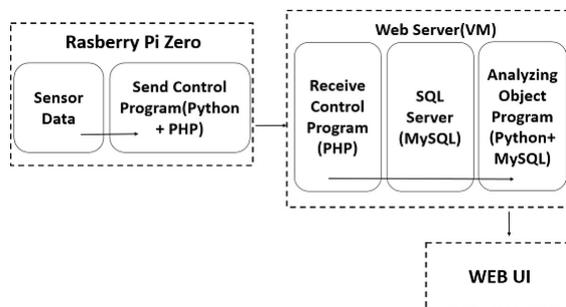


図4 ソフトウェア構成図

4.2 センサデータの分析

図1をもとにして2つのHCSR-04のセンサで得られるデータを表3に示す。

表3 HC-SR04で取得したデータの例

回数	ℓ (cm)	ℓ' (cm)
1	10.4	10.4
2	10.4	10.3
3	10.5	10.3
4	3.2	1.2
5	3.2	2.5
6	1.2	2.5
7	1.2	2.4
8	1.2	2.4
9	2.1	1.2
10	2.2	1.3
11	2.2	2.2
12	2.2	2.2
13	1.2	2.1
14	1.2	1.2
15	2.2	2.1
16	10.3	10.4
17	10.4	10.3
18	10.3	10.3

ℓ はセンサAとObjectとの距離、 ℓ' はセンサBとObjectとの距離のデータを示している。1から3回目までのデータはObjectが2つのセンサの間を通る前の状態であるため ℓ と ℓ' の距離がほぼ等しい。また、初期の同値の判定は3回定以上連続でかつ ℓ と ℓ' の誤差が0.2cm以下であれば同値と判定する。計測終了の同値判定は表3の16回目以降は ℓ と ℓ' の距離が同値であり、かつ1から3回目の結果が同値であるため終了判定とみなせる。なお、誤差の判定は初期状態の判定と同様に0.2cm以下であれば同値

と判定する。また表 4 においてデータベースに送信する値は 4 から 15 回目のセンサデータのみ送信される。また、今回提案する凹凸検出の方法としてそれぞれセンサとの距離 l , l' と Object の中央線 L からの差 $L-l$, $L-l'$ の絶対値を負の数に変換したデータを使用してグラフを表示すると Object の凹凸に近い結果が得られるだろう。

5. 評価

今回は超音波距離センサである HCSR-04 を用いて凹凸の検出を提案したが、この方法では正確に検出可能なものが曲線がなく角が直角のもののみしか対応できない。角が曲線であるものや直角以外のものを検出する際は超音波距離センサから発生する超音波信号が乱反射しないセンサの設置方法を考慮する必要があるだろう。また、本実験で物体を動かすのは等速直線運動運動を想定としているが実際に完全な等速直線運動を動作させるの難しい。なのでセンサ側をサーボモータ等で一定速度でスキャンする方法 [10] を検証する必要があるだろう。

6. おわりに

本稿では行っている凹凸の検出は画像処理を使用せず HCSR-04 センサのみで行うことを想定としているが課題が画像処理と違い物理環境の影響を受けやすい。画像処理で行う物体検知は明暗によってはうまく検出できない場合がある。なので超音波距離センサと画像処理を両方使用した物体検出を行えば自動運転や災害救助ロボットの通路確認作業の質の向上につながるだろう。

参考文献

- [1] Liu, L., Ouyang, W., Wang, X., Fieguth, P. W., Chen, J., Liu, X. and Pietikäinen, M.: Deep Learning for Generic Object Detection: A Survey, *CoRR*, Vol. abs/1809.02165 (2018).
- [2] Rayes, A. and Salam, S.: Internet of Things (IoT) Overview, pp. 1–34 (2017).
- [3] Borenstein, J. and Koren, Y.: Obstacle avoidance with ultrasonic sensors, *IEEE Journal on Robotics and Automation*, Vol. 4, No. 2, pp. 213–218 (1988).
- [4] Zhao, Z., Zheng, P., Xu, S. and Wu, X.: Object Detection With Deep Learning: A Review, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, Vol. 30, No. 11, pp. 3212–3232 (2019).
- [5] He, W., Yan, G. and Xu, L. D.: Developing Vehicular Data Cloud Services in the IoT Environment, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 10, No. 2, pp. 1587–1595 (2014).
- [6] Mohammad, T.: Using Ultrasonic and Infrared Sensors for Distance Measurement, *ETIJMME*, Vol. 3, No. 3, pp. 267–272 (2009).
- [7] Manpreet, K. and Jai, P.: Distance Measurement of Object by Ultrasonic Sensor HC-SR04, *IJSRD*, Vol. 3, No. 5, pp. 503–505 (2005).
- [8] Anusha, S. and A Sushmitha, B.: 3D Surface Mapping using Ultrasonic Sensors, *IJISRT*, Vol. 3, pp. 489–491

- (2018).
- [9] Shadman, F., Abrar, H. and Iftekharul, M.: Ultrasonic Sensor Based 3D Mapping & Localization, *IJCSE*, Vol. 8, No. 4, pp. 140–151 (2016).
- [10] Munir, Muhammad, M., Billah, M., Surachman, A., Budiman, M. and Khairurrijal, K.: Design of 3D scanner for surface contour mapping by ultrasonic sensor (2015).