

# 超音波による路上障害物形状の認識手法の提案

中村一輝<sup>†1</sup> 中村嘉隆<sup>†2</sup> 高橋修<sup>†2</sup>

**概要:** 自動車を対象にした自動走行技術の発達に伴い, 将来的には自転車やセグウェイといったパーソナルモビリティも自動走行の開発対象になると考えられる. 現在, 開発が進められている自動車の衝突回避技術として, 画像処理技術や各種センサを用いて路上にある障害物を検知するものがある. また, 障害物回避技術は自動車だけでなく, ロボットや視覚障害者向けの白杖に応用されている. しかし, これらの技術は検知のための装置が大きく, 複数の箇所に取り付けが必要があるため, 比較的スペースの限られた個人用自転車等の移動体に用いるには困難である. また, 画像認識技術を用いる場合には, 天候や障害物の色などによる影響を受けやすい. そこで本研究では, スマートフォンのような小型で普及率の高い端末と超音波センサを用いた手頃な端末によって路上障害物情報を検知し, 端末間通信によって共有することで, より精度の高い路上障害物情報の取得手法を提案する.

## Proposal of recognition method of road obstacle shapes using ultrasonic

IKKI NAKAMURA<sup>†1</sup> YOSHITAKA NAKAMURA<sup>†2</sup> OSAMU TAKAHASHI<sup>†2</sup>

### 1. はじめに

現在, 自動車の自動運転の実用化に向けて研究や開発が進められている[1]. また, 自動車以外に個人ユースの車両や自律移動ロボットを対象にした自動運転技術を適応させる研究が進められている[2,3]. このことから, 将来的には二輪車やセグウェイなどの個人ユースの移動車両も自動走行の開発対象となっていくと考えられる. 自動運転の実用化のためには, 障害物の検知等による障害物衝突回避技術が重要となり, 自動車の自動運転カーを開発しているGoogle社では, 複数の場所にセンサを取り付けて周囲をセンシングすることで自動走行を実現している[4,5]. しかし, 個人ユースの車両や自律移動ロボットに対してこの手法を適応するには, 比較的大きなセンシング機器を複数の箇所に取り付けが必要があるため, 二輪車などの車体の小さいパーソナルモビリティに対して, そのまま適用することは難しい. また, パーソナルモビリティに適用可能な小型の端末で周囲をセンシングするセンサとして, カメラがある. カメラから得られる画像情報を用いて画像処理を行った場合, 様々な形状や色が存在し, 季節や時間帯, 天候などによって見え方が変化するため, 画像処理では全ての環境や対象障害物に対して正確に検知することが困難である. 加えて, 路上障害物の認識や画像処理を行う計算コストの関係からリアルタイムに認識することが困難である[6,7]. こ

のことから, 今後パーソナルモビリティの自動運転の実用化に向けて, パーソナルモビリティに適応することができる障害物衝突回避装置が必要になってくると考えられる.

一方, 20kHzより高周波である超音波の指向性, 反射特性や電磁波と比較した場合の伝搬速度の遅さに着目し, これを高精度の障害物検知に利用する技術が多く提案されている[8,9]. 超音波は赤外線や可視光による障害物検知と比べて太陽光などの影響に強いいため屋外での利用に適しており, 超音波の送受信はスマートフォンのスピーカー・マイク等でも利用可能であることから, 屋外での簡便な障害物検知への応用が期待できる. また, システムデザインの「SSC」[10]やNTTドコモの「Air Stamp」[11]では, 超音波を利用した通信技術も提案されている.

そこで, 本論文では, 超音波センサを用いて路上障害物の形状や大きさなどの路上障害物情報を取得し, 他の端末と端末間通信により取得した障害物情報を共有することによって効率的に障害物情報を収集する手法の提案を行う.

### 2. 関連研究

本章では, 路上障害物の形状認識及び情報共有手法の関連研究としてまず, 超音波による障害物検知, 及び検知ポイントの情報による障害物形状認識の研究の内容を述べる. その後, 関連研究と本研究の位置付けを述べる.

<sup>†1</sup> 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科  
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

<sup>†2</sup> 公立はこだて未来大学 システム情報科学部  
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

## 2.1 超音波センサを用いた障害物検知

荒川ら[6]は、屋外を通行する利用者がスマートフォンのカメラと超音波センサを用いて路上障害物を検知する手法を提案している。スマートフォンのカメラ機能を用いて路上障害物を撮影し、画像処理を用いて色の違いから障害物を認識する。壁などの色が統一されていることにより、画像処理で検知できない路上障害物を検知する場合には、超音波センサを用いている。また、超音波センサとAndroid端末間のデータのやり取りは、Bluetooth通信で行われている。しかし、この手法は、路上障害物検知の際に画像処理を用いていることから、タイル等によって舗装された歩道などの場合では、タイルのエッジを検出してしまい、誤検知が起こる可能性がある。また、画像処理は処理コストが高いため、スマートフォンのように、PCと比べ処理性能が高性能ではない端末を用いた場合、画像処理結果の表示地点と現在地点でのラグが発生してしまう問題がある。

## 2.2 レーザースキャナによる障害物形状認識

岩田ら[12]は、設置した4台のレーザースキャナによって得られる距離情報から算出されるそれぞれのポイントをグループ化することで屋外の路上物体の形状を認識する手法を提案している。レーザースキャナの測距手法は、レーザが送信されてから反射波を受信するまでの時間差を利用して対象の物体までの距離を測定するTOF(Time Of Flight)という手法を用いている。この手法では、レーザースキャナを固定していること、レーザを用いていることから、場所の制約や外光、対象物の色、素材によって屋外の路上物体を認識できない問題がある。

## 2.3 スマートフォンを用いた屋内フロアマップ作成

柏木ら[13]は、屋内フロアマップを作成するために建物の各部屋で超音波センサがジェット付スマートフォンを手で所持し、壁に沿って歩行することで各部屋のサイズ・形状を推定する手法を提案している。まず、Wi-Fiを用いた屋内位置推定、及びスマートフォンに内蔵されたセンサによるデッドレコニングによって屋内フロアマップを作成する利用者の移動軌跡の推定を行う。次に、超音波センサによって屋内フロアマップを作成する利用者と壁までの距離を測定することで壁の位置を推定し、その情報を収集することでフロアマップを作成している。しかし、この手法では、路上障害物の形状を認識する際に、屋外を通行する利用者が路上障害物の形状を意図して測定する必要がある。また、測定を個人で行うことが前提のシステムであることから、屋外のような広範囲の場所では、屋外を通行する利用者による測定の負担が大きくなってしまいう問題がある。

## 2.4 提案手法との位置付け

2.1 節のスマートフォンのカメラと超音波センサを用い

た路上障害物検知手法では、カメラに映ったタイルによる誤検知や画像処理の計算コストが大きくなる。この問題に対し、カメラを用いた画像処理は行わず、超音波センサのみを用いて路上障害物の検知を検討する。2.2 節のレーザースキャナによる路上の物体形状認識手法では、位置を固定したレーザースキャナを用いていることから、場所の制約や外光、対象物の色、素材によっては認識できない障害物が存在することが問題となる。これに対して、端末を移動体そのものに取り付けることで検知場所の制約を小さくし、外光や障害物の色に影響されない超音波を用いて障害物の検知を行うことを検討する。2.3 節の超音波センサがジェット付スマートフォンを用いた屋内フロアマップ作成手法では、屋外の広域を対象にした障害物検知を考慮していないため、前もって大まかな形状を把握した上で測定する必要があり、初めて通行する場所の測定が困難、かつ通行者による測定の負担が多くなってしまいう問題がある。これに対し、屋外を通行する利用者の測定データを複数人が相互に共有することによって、初めて通行するような場所や広域における路上障害物の検知を容易にすることを検討する。

## 3. 提案手法

本章では、提案手法全体の概要及び各手法の内容について述べる。

### 3.1 提案手法の概要

提案手法全体のフローチャートを図1に示す。

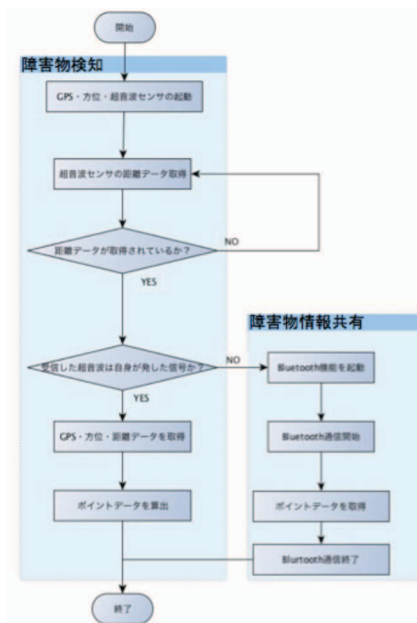


図1 提案手法のフローチャート

提案手法が想定するユーザは、方位センサ、超音波セン

サ、GPS センサ、Bluetooth 通信機能を内蔵した端末を保持して屋外を移動し、移動中に物体の検知及び他の端末との通信を行う。

まず、端末に内蔵されている超音波センサを用いて、前方に存在する路上障害物の有無を判断する（障害物検知手法）。超音波センサのスピーカ部分では発信元端末から超音波を発信し、マイク部分では発信した超音波の反射波から周囲の物体までの距離を計測し、距離データとして取得する。次に、超音波センサによって前方にある障害物を検知した際に、路上障害物を検知した場所を示す GPS 情報と検知した時に端末を向けていた方角を示す方位センサを合わせることで路上障害物のポイントデータの算出を行う。ポイントデータとは、検知を確認した地点での端末位置情報、端末が向いている（すなわち超音波を発信した）方角、障害物までの距離から求められる、物体の形状を構成する点の情報のことである。

算出したポイントデータを様々な位置や角度から取得し、統合することで路上障害物の形状を推定する。そのために、取得した超音波信号が、他の通行する提案手法の利用者が用いている端末から送信された信号であった場合、取得しているポイントデータを互いの端末に内蔵されている Bluetooth 通信によって共有する（障害物検知手法）。

### 3.2 障害物検知手法

障害物検知手法の概要を図 2 に示す。

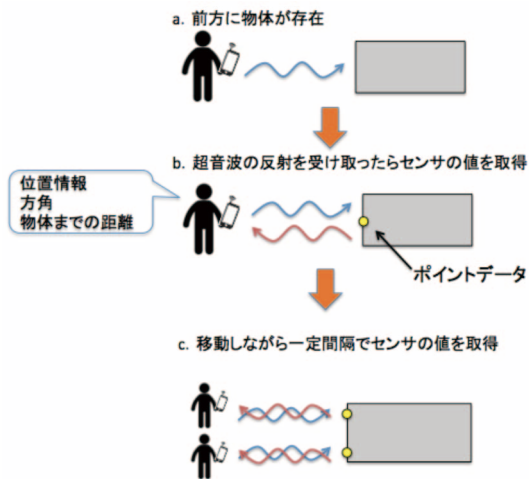


図2 障害物検知手法

ユーザは、障害物までの距離情報を超音波によって一定周期で取得する (a)。超音波センサは、スピーカが出した超音波の反射波をマイクで受信し、距離を測定する。超音波センサが路上障害物を検知した際に、方位センサと GPS センサから、検知した時点でのユーザの位置およびその時の障害物の方角に関するデータを取得する。このデータに超音波センサで得られた障害物までの距離情報を加えて、

ポイントデータを算出する (b)。超音波センサ、方位センサ、GPS センサによるポイントデータの算出手法を図 3 に示す。

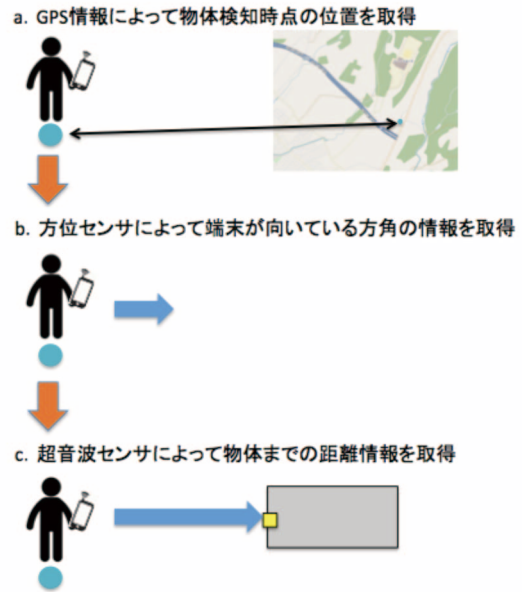


図3 ポイントデータの算出手法

路上障害物を検知した地点のポイントデータは、路上障害物を検知する毎に算出して、通行する利用者の端末内に保存する (c)。GPS 情報や方位情報、障害物までの距離情報をポイントデータとして変換するアルゴリズムとして、式(1)、式(2)の Vincenty の公式を用いる。この公式を用いて、位置情報と方角 $(\varphi_1, \lambda_1, \alpha_1, s)$ ( $\varphi_1$ :検知した地点での緯度、 $\lambda_1$ :検知した地点での経度、 $\alpha_1$ :二点間の方角、 $s$ :二点間の距離) から緯度  $\varphi_2$  と経度  $\lambda_2$  を求める。

$$\varphi_2 = \arctan \left( \frac{\sin U_1 \cos \sigma + \cos U_1 \sin \sigma \cos \alpha_1}{(1-f) \sqrt{\sin^2 \alpha + (\sin U_1 \sin \sigma - \cos U_1 \cos \sigma \cos \alpha_1)^2}} \right) \quad (1)$$

$$\lambda_2 = \arctan \left( \frac{\sin \sigma \sin \alpha_1}{\cos U_1 \cos \sigma - \sin U_1 \sin \sigma \cos \alpha_1} \right) \quad (2)$$

このとき、 $f$  は地球の扁平率、 $U_1$  は扁平率を元に補正をかけた緯度、 $\alpha$  は扁平率を元に補正をかけた二点間の方角、 $\sigma$  は扁平率を元に補正をかけた二点間の弧の距離を表している。

### 3.3 障害物検知情報共有手法

障害物検知情報を共有する手法について図4に示す。

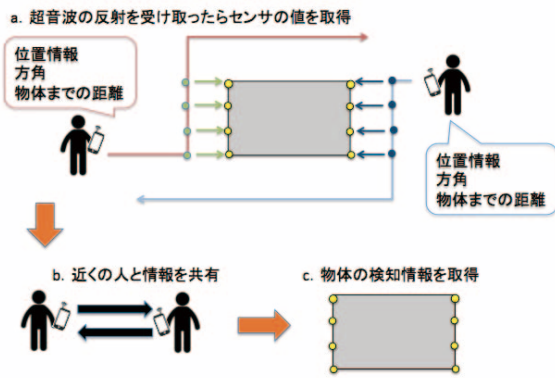


図4 障害物検知情報の共有手法

物体の異なる端点のポイントデータを所持している端末同士がそれぞれ発している超音波を取得することで、互いに接近していることを認識し、ポイントデータを交換し合う。これによって、障害物に対して様々な角度から算出されたポイントデータを共有する。複数の端末間でポイントデータを共有する手法として、路上障害物の検知に用いている超音波をそのまま信号とする超音波通信を使用できる可能性がある。しかし、現状では超音波通信は正しい信号到達の到達率が低いなどの問題がある。そのため、路上障害物検知情報の共有手法での通信は、Bluetooth通信によって行い、利用者が使用している端末の消費電力を削減するためのBluetooth通信のウェイクアップ制御として、検知に用いている超音波センサの信号を用いることとする。

一方、情報の共有手法としてサーバによるインフラ通信を用いた情報共有手法も考えられる。しかし、検知データと検知した自身の位置情報をサーバに送信し、送信した端末のサーバに集積した情報から送信端末の周囲の端末の情報を取り出して送信端末に返すという処理を個々の端末に対して行った場合、トラフィック量が非常に大きくなり、継続的なサービス提供のためには、高負荷耐性のある高性能なサーバ群を用意する必要がある。このため、処理コストが非常に高くなるために、周りに端末があるときのみ、Bluetooth通信を用いてそれらの端末と端末間通信を行い、情報を交換する手法が効果的であると考えられる。

#### 4. 提案システムの基礎評価実験

本章では、提案方式の有用性を評価するために行った実験とその結果について述べる。

##### 4.1 実験環境及び実験内容

提案手法による路上障害物の検知手法と路上障害物検知情報の共有手法を評価するため、GPS センサによる位置情報と磁気センサ及び加速度センサによる方位情報、マイクとスピーカによる路上障害物までの距離情報を取得し、路

上障害物のポイントデータを算出するシステムを実装した。マイクとスピーカによる超音波センサは、Arduino と超音波センサモジュールを用いた。また、位置情報取得のための GPS センサ、および、方位情報取得のための磁気センサ・加速度センサは Android 端末内蔵センサを用いた。超音波センサによる距離データを取得するための開発環境として、Arduino から PC に渡すための USB シリアル通信を行うことが容易な Processing を用い、Android 端末内のセンサデータを取得するための開発環境として Eclipse を用いた。

超音波センサの精度を評価するために公立はこだて未来大学（以下本校）内にある四角柱の柱を対象に、超音波センサの検知距離を測定する実験（実験1）を行った。次に、提案手法の性能評価を行うための実験として、障害物の周囲に多数の超音波センサを固定的に配置して検知する手法（実験2）と対象障害物の周囲を移動する複数の移動端末上の超音波センサによって検知された障害物情報を結合する提案手法（実験3）それぞれで、検知した障害物形状の評価実験を行った。また、提案手法において、検知対象の障害物の形状によって検知精度に影響を及ぼしていないかを検証するため、対象障害物として自動車・自転車・電柱を選び、検知実験（実験4）を行った。加えて、本校校舎付近の駐車場で実験を行ったため、校舎の建物によってGPS電波の精度に影響を及ぼしていないかを検証するため、本校校舎から離れた地点にある広場で同様の検知実験（実験5）を行った。

##### 4.2 実験1の実験内容と結果

実験1では、超音波センサの測定誤差がどの程度あるのかを検証する。四角柱の柱を対象に超音波センサを1m離れた場所と2m離れた場所にそれぞれ超音波センサを設置して距離を測定する。

1m離れた場所に超音波センサを設置して距離を測定した結果を図5に示す。1m離れた際の測定誤差の範囲は0.64cmから-2.4cmとなり、平均誤差は0.95cmである結果が得られた。

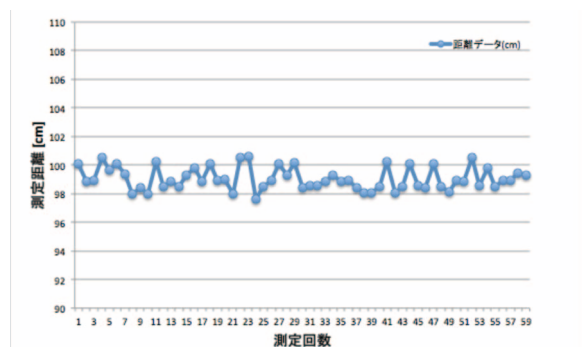


図5 1m離れた場所からの測定結果

2m 離れた場所に超音波センサを設置して距離を測定した結果を図 6 に示す。2m 離れた際の測定誤差の範囲は 6.69cm から -0.06cm となり、平均誤差は 1.62cm である結果が得られた。

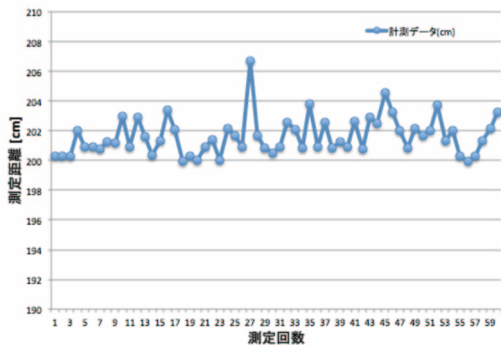


図 6 2m 離れた場所からの測定結果

#### 4.3 実験 2 の実験内容と結果

実験 2 では、多数の超音波センサを対象障害物の周囲の固定位置に配置してポイントデータを算出した際に、正しいポイントデータを算出できるかを検証する。センサの配置位置と障害物形状を図 7 に示す。灰色の四角い障害物が今回検知対象としている障害物であり、青い線が検知実験でセンサを配置した位置である。



図 7 実験 1 におけるセンサ位置と障害物形状

実験 2 の検知結果を図 8 に示す。障害物の形状である長方形のポイントデータが算出できていることがわかる。



図 8 取得データから算出されたポイントデータ

#### 4.4 実験 3 の実験内容と結果

実験 3 では、対象障害物の周囲を移動しながら超音波センサを持つ複数の移動端末がポイントデータを算出した際に、正しいポイントデータを算出できるかを検証する。実験中に移動した経路を図 9 に示す。灰色の四角い障害物が実験において検知対象としている障害物であり、青い線の矢印と赤い線の矢印が実験 3 における移動経路である。

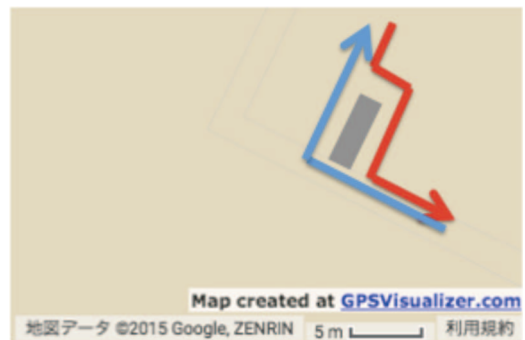


図 9 実験 2 におけるセンサの移動経路

実験 3 の検知結果を図 10 に示す。ポイントデータが集中して算出された部分が見られた。



図 10 取得データから算出されたポイントデータ

実験 3 を複数回繰り返した結果を図 11 に示す。障害物の形状に集中してポイントデータを算出することができた。



図 11 実験 2 を複数回行った結果

#### 4.5 実験 4 の実験内容と実験結果

実験 4 では、対象障害物を車ではなく、自転車と電柱に置き換えた際に、正しいポイントデータを算出できるかを検証する。実験中に移動した経路を図 12 に示す。灰色の四角い障害物が検知対象の自転車であり、青い線の矢印と赤い線の矢印が実験中の移動経路である。



図 12 対象障害物を自転車にした検知実験の移動経路

対象障害物を電柱にした検知実験中に移動した経路を図 13 に示す。灰色の丸い障害物が対象障害物を変更した検知実験において検知対象としている電柱であり、青い線の矢印と赤い線の矢印が対象障害物を変更した検知実験における移動経路である。



図 13 対象障害物を電柱にした検知実験の移動経路

自転車を対象にした検知実験の結果を図 14 に示す。自転車を対象に実験を行った結果、検知対象である自転車の位置ではない場所のポイントデータ（ノイズデータ）が多く得られ、自転車のような物体には正しく検知できないことがわかる。



図 14 自転車を対象にした検知実験の結果

電柱を対象に実験を行った結果を図 15 に示す。四角の形状ではなく、半円形のポイントデータが集中して得られた。



図 15 電柱を対象に実験を行った結果

#### 4.6 実験 5 の実験内容と実験結果

実験 5 では、対象障害物を校舎付近にある校舎裏の駐車場と校舎から離れた場所である校舎表にある広場を比較した際に、対象障害物の形状に集中したポイントデータが算出できることを検証する。広場で移動した経路を図 16 に示す。



図 16 広場における移動経路

実験 5 の実験結果を図 17 に示す。校舎から離れた場所、かつ校舎から見て駐車場から反対方向の場所で検知実験をした場合でも駐車場で実験を行った実験 3 と同様に、障害物の形状に集中したポイントデータを得ることができた。



図 17 広場で実験を行った結果

### 5. 考察

本章では、4 章で述べた実験結果について考察する。実験 1 では、対象障害物から 1m 離れた場所からの測定及び 2m 離れた場所からの測定の結果として、それぞれの平均誤差が 2cm 以下に収まっているため、本提案手法の評価において超音波センサによる誤差はほとんど影響がないといえる。

実験 2 では、障害物の検知を固定のセンサで行うことから、GPS の測定誤差が一定となるため、比較的障害物の形状に近いポイントデータを算出することができている。

実験 3 では、移動するセンサで行う際には、複数回検知を行うことによって、障害物の形状に近いポイントデータが集中して算出されたことから、集中しているポイントデータのみを取り出すことによって検知精度を向上できることが考えられる。

実験 4 では、自転車を対象にした検知結果として、自転車の後ろにある障害物などのノイズを含むポイントデータが得られたため、正しい形状把握ができなかった。また、電柱を対象にした検知結果として半円形のポイントデータが得られた。これにより、自転車や電柱等の検知面積が小さい障害物に対しては、何らかの補正をかける必要があると考えられる。

実験 5 では、実験 2 と同じように障害物の形状に集中したポイントデータが得られたことから、実験 2 で取得したポイントデータを算出するための GPS データには、本校の建物による電波干渉の影響がないということが考えられる。

### 6. まとめ

本研究では、通行者による路上障害物の形状把握を課題とし、GPS センサや方位センサ、超音波センサを用いるこ

とによる障害物検知と Bluetooth 通信による障害物検知情報の共有手法を提案した。提案手法は、対象障害物の形状に近いポイントデータを算出することができ、ポイントデータの取得回数を増やすことで対象障害物の形状の検知精度を向上できることがわかった。

今後は、1 つの障害物に対して他の端末と情報共有することで得られる多数の情報を用いて、精度の良い情報のみを抽出する手法の検討が必要であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 林昌希：コンピュータビジョンのセカイ - 今そこにあるミライ (33) 人工知能/ロボット応用で使われるコンピュータビジョン技術(前編) | マイナビニュース, 株式会社 マイナビ (オンライン), 入手先<[http://news.mynavi.jp/series/computer\\_vision/033/](http://news.mynavi.jp/series/computer_vision/033/)> (参照 2015-5-13).
- [2] 吉川毅, 本間稔規, 大村功ほか: 視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発, 北海道立工業試験場報告, No.295, pp.147-156(1996).
- [3] 渡邊賢, 尾崎宏樹, 矢田幸大ほか: 小型無人移動体との連携による個人用知的移動体の安全自動走行とその評価; 第 75 回情報処理学会全国大会論文集, 3Y-6, pp.449-450 (2013).
- [4] Google : Official Google Blog: What we're driving at (オンライン), 入手先<<http://googleblog.blogspot.jp/2010/10/what-were-driving-at.html>> (参照 2015-5-13).
- [5] 国土交通省 : 国内外における自動運転の取り組み概要 (オンライン), 入手先<<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/pdf/10.pdf>>, (参照 2015-5-13).
- [6] 荒川貴則, 江口一彦 : Android 端末を用いた路上障害物認識装置, 愛知工業大学研究報告, Vol.48, pp.181-189(2013).
- [7] 深井寛修, 徐剛 : 全探索を用いたロボスタかつ高速な 3 次元物体認識と追跡, 画像の認識・理解シンポジウム, IS4-4, pp.1303-1310(2011).
- [8] エーピーアイ株式会社 : スマート電子白杖 | 秋田県立大学と共同開発をした、超音波センサー付きの視覚障がい者用白杖 (オンライン), 入手先<<http://www.api-kk.com/denshi-hakujo/>> (参照 2015-5-13).
- [9] 羽多野裕之, 山里敬也, 片山正昭 : 超音波アレイエミッタを用いた自動車用近距離障害物検出システムの検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, No.161, pp.15-20 (2007).
- [10] 株式会社システムデザイン : SSC CONNECT ホーム 【超音波 通信 技術】, 入手先<<http://ssc-connect.com/>> (参照 2015-05-07).
- [11] NTT DOCOMO : 報道発表資料 : 音波を使ったチェックインソリューション「Air Stamp」の提供開始 | お知らせ | NTT ドコモ, 入手先<[https://www.nttdocomo.co.jp/info/news\\_release/2014/03/04\\_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2014/03/04_00.html)> (参照 2015-05-07).
- [12] 岩田一祥, 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介 : レーザースキャナを用いた交通空間における移動物体の検知・識別, 全国測量技術大会 2005 学生フォーラム発表論文集, Vol.7, No.6, pp.39-42(2005).
- [13] 柏木幸俊, 荒川豊, 安本慶一 : YAMATO : 超音波センサガジェット付スマートフォンを活用した屋内フロアマップ作成支援システムの実装と評価, マルチメディア, 分散, 強調とモバイルシンポジウム, 6C-4, pp.1359-1367(2014).