

# カメラを搭載した移動ロボットによる監視システム ～ すれ違う自転車の移動速度推定と搭乗者の記録タイミングの検討～

田所 裕貴 (筑波大学), 大矢 晃久 (筑波大学)

## Monitoring System Using a Mobile Robot Equipped with a Camera. Examination of the timing of recording the people passing by bicycle and estimation of the velocity.

Yuki TADOKORO(Univ. of Tsukuba), and Akihisa OHYA(Univ. of Tsukuba)

**Abstract**— In this paper, the system is introduced which estimates the velocity of people passing by bicycle using sensor data and the timing for records of those. Stereo vision and SOKUIKI sensor were used for estimation of the velocity. We discuss the timing of recording and the plan for the operation of the robot based on the data through the experiments.

### 1. はじめに

#### 1.1 研究背景

現在、移動ロボットの分野では、そのセンシング技術と高い処理技術が著しい発展を遂げている。今後は、高齢者の移動サポートやスマートシティへの応用など、より社会においてロボット技術の普及に対し大きな期待がある。現在の屋外走行技術では、自律走行する為のナビゲーション技術や自己位置推定技術などが存在する。

著者らは、これまで屋外環境において移動ロボットから移動物体の検出を行ってきた。そこで得られた遊歩道環境における移動物体の検出技術を社会に役立つロボットの動作に応用できないか考察した。

例えば、Nシステムや監視カメラなど犯罪捜査に用いられるシステムが存在する。これと似たようなシステムを遊歩道を移動する警備ロボットに搭載することで、安全安心な社会の実現に貢献できるのではないかと考えた。これが、本研究の動機である。

#### 1.2 本研究の目的

屋外警備では、数多くの警備項目がある。多くの警備項目の中から、本研究では歩道環境においてすれ違う人の監視と記録に着目することとした。

本研究は、屋外移動ロボットにセンサを搭載し、移動する自転車等を認識して、移動速度を推定することにより、自転車の搭乗者の顔を記録することを目的とする。本研究で対象とする環境は、遊歩道環境および大学構内の屋外とする。研究の目標は、移動ロボットが巡回走行中にすれ違う自転車の移動速度推定を行い、その自転車の搭乗者を画像の中心に正しく記録することである。

本稿では、第2章にて、自転車の認識と移動速度推定について、第3章にて、記録画像の取得と記録タイミングの検討について、第4章にて、想定される場面と検証実験について述べる。

#### 1.3 本研究のアプローチ

移動している物体の検出方法 [2] は、多くの物体情報が瞬時に取得できるステレオビジョンにより移動している物体を検出することが有用だと考えられる。しかしステレオビジョンには、基線長による距離や視野角などの制約もあるため、測域センサと組み合わせて使うことでより遠くの移動物体を検出でき、なめらかな移動物体の速度推定が可能であると考えた。本研究では、移動している物体を、走行するロボットから検出して、写真を記録する方法を実装して検証する。

#### 1.4 ロボット

実験に使用したロボット [1] を図.1 に示す。屋外での長距離自律移動が可能な大容量 Li-ion バッテリーや PC、モニタなどが搭載されている。センサは、本研究室の森川らが開発したステレオビジョン [3] に加え、測域センサとして北陽電機株式会社の Top-URG(UTM-30LX)、ロボットの速度検出の為の地磁気・ジャイロセンサとして IMU (NAV420) が搭載されている。

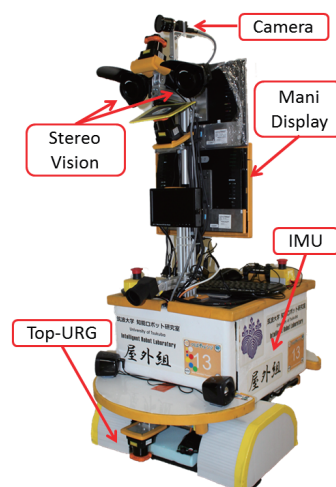


Fig.1 Hardware Configuration of Hitotsubo

## 1.5 記録用カメラ

搭乗者の記録用に使用したカメラ「Point Grey Research Flea2-14S3M/C」を図.2 に示す。カメラは、自転車の搭乗者の顔を正面から記録するためロボット上部の 1.45m の高さに取り付けた。記録する画像の解像度は VGA でありフレームレートは、15fps である。レンズは、COSMICAR 8.5mm F1.5 を使用した。さらに路面や壁による反射を軽減するために、偏光フィルタ（ケンコーのサーキュラー PL(W) パーニャ (49 S C-PL(W)VERNIER)）を取り付けた。また、このカメラの取り付けは、ロボットの前方方向から約 30 度、時計回りに回転して取り付けられている (図.3)。

## 2. 自転車の認識と移動速度推定

### 2.1 基本方針

ステレオビジョンと測域センサから得られる点群データから路面上において、移動している物体のみを抽出して移動速度の推定する。測域センサは、ロボット正面に水平に取り付けられていることから、路面上の障害物として検出が可能である。一方、ステレオビジョンは、得られる 3 次元の点群データに路面が含まれている。このデータから路面上の物体のみを検出するため、高さ情報を利用して路面部分の削除を行う [4]。次に自転車と思われる物体を抽出するため、グリッドマップを使用したラベルクラスタリングを行う。ここで自転車と同様の大きさを有するクラスタを抽出する。抽出されたクラスタの中心位置を用いて、過去の物体位置データから移動速度推定を行う。

### 2.2 グリッドマップ化

ステレオビジョンから得られるセンサデータは、3 次元の点群データが得られる。図.4 は、左カメラ画像、図.5 は、このとき得られた 3 次元点群を示す。このデータから高さ情報を利用して路面を含む領域を削除する。残された点群を俯瞰視点から見た 2 次元のデータに変換する。上記の方法で得られたステレオビジョンのセンサデータを赤で、測域センサのデータを緑で、図.6 に示す。これらの 2 次元のデータを 10cm のグリッドマップ (200x200: ロボット前方方向に 20m, 左右横方向にそれぞれ 10m) に変換する。図.7 は、図.6 のデータから得られたグリッドマップであり、センサのデータがあるグリッドを紫色で示す。



Fig.2 A Camera Mounted on The Robot

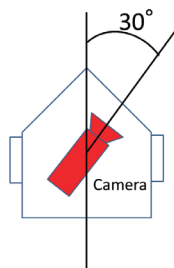


Fig.3 Camera Position

### 2.3 ラベルクラスタリングと物体検出

グリッドマップに変換されたデータの中には、壁などの自転車以外の障害物も含まれている。ここで、自転車と同様の大きさを有する物体を検出するために、ラベルクラスタリングを行った。利用したラベリングは、連続した画素に同じラベルを振り分ける手法を用いた。8 近傍で隣接するグリッドに同じラベルを振り分けるために、ルックアップテーブルを用いたラベリング手法 [6] を適用した。同じラベルを振り分けられた物を一つのクラスタとしている。このクラスタリングの結果を図.8 に示す。図は、それぞれのクラスタを色分けして表示している。このクラスタリングを行ったデータから自転車と思われる数のグリッドを有するクラスタを抽出する (図.9)。また、この時のグリッドの数は、50~150 個に設定している。



Fig.4 Left Camera Image

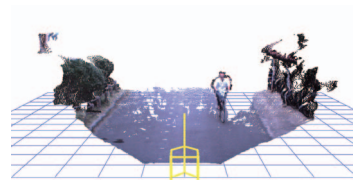


Fig.5 Stereo Vision Sensor Data

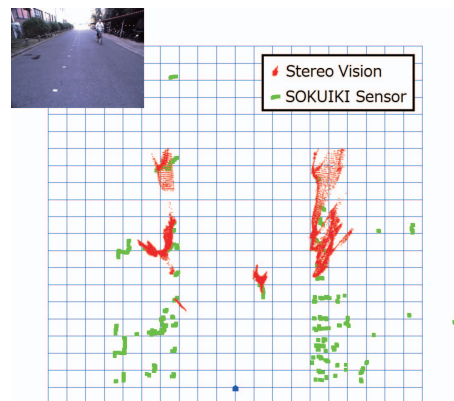


Fig.6 Sensor Data (TOP VIEW)

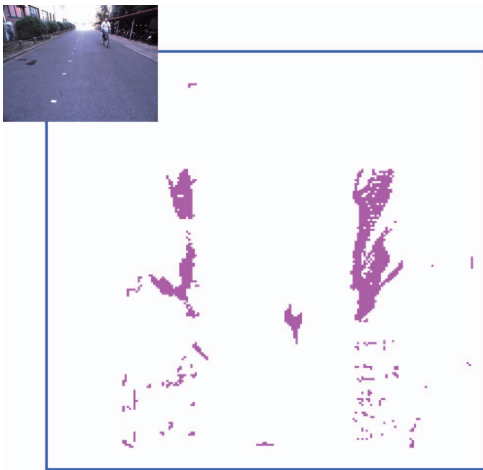


Fig.7 Gridmap from Stereo Vision and SOKUIKI Sensor

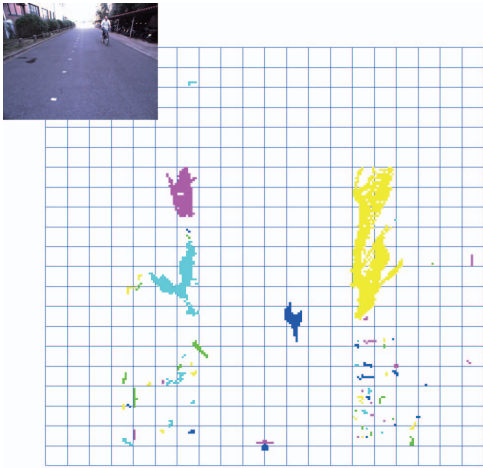


Fig.8 The Result of the Clustering

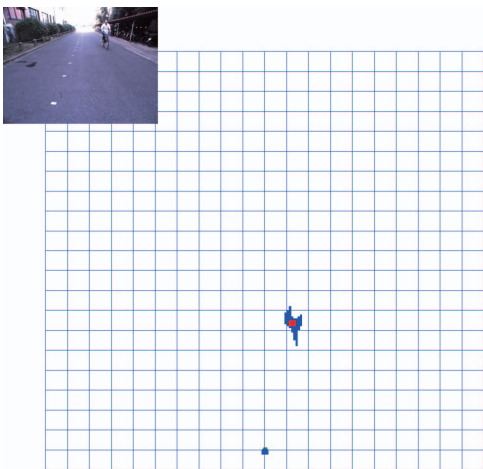


Fig.9 The Result of the Extraction

## 2.4 移動速度推定

クラスタリングにより抽出された移動物体の移動速度を推定する．はじめに抽出された物体の移動速度を推定するため，物体の中心を計算する．求めた物体の中心の位置に着目して，中心の位置が過去の位置からどのように変化したかを求めることで物体の移動速度を計算する．このとき過去の中心位置と現在の中心位置を計算する際に，ロボットの移動も考慮しなければならない．そこで，ロボットの速度を求める必要がある．ホイールエンコーダから得られる並進速度とIMUから得られる yaw 角の角速度を用いることで，ロボットの移動速度を求める．ロボットの移動速度を利用して座標変換をすることで，過去のデータと現在のデータをロボットが走行していても照らし合わせることができる．過去のデータと現在のデータで十分に距離が近い物を同じ物体と認識する．この処理を 40fps で繰り返す．また，中心の位置が 1m 以内にある物を同じ物体とした．また，センサには誤差があるため物体の位置が安定せずにはばついてしまう．これにより正確に速度を求めることができない．これを改善するために過去 0.3 秒間 (約 12 フレーム) の位置の平均を求めた．この平均された位置を利用して，現在から過去 0.3 秒間の平均位置と 0.3 秒前から 0.6 秒前における平均位置から移動速度の推定を行う (図.10)．一連の動作を行うことで図.11 の移動物体の速度推定結果が得られた．

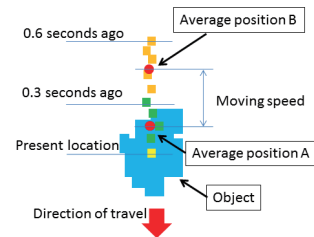


Fig.10 Estimation of the Velocity and the Moving Average

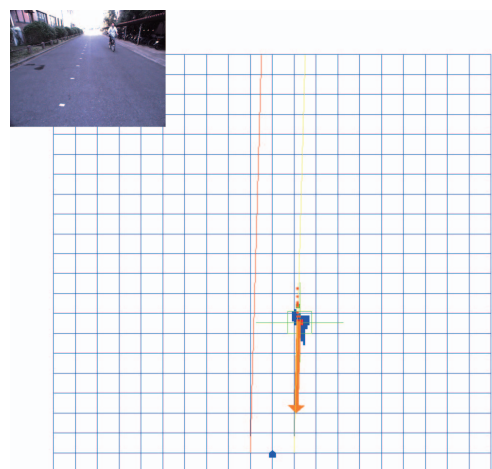


Fig.11 Displaying the Result of the Vector

### 3. 動作の計画と記録タイミング

向かってくる自転車の搭乗者を走行しているロボットから記録する。ここで本システムでは、自転車の搭乗者の顔を画像に記録することが目標である。そのためには、顔が撮影できる位置に移動しなければならない。そこでまず、自転車の搭乗者の顔を撮影できる位置関係について検討した。この位置は、ロボットに取り付けられたカメラから人が操作して画像の記録を行い、このときに得られた画像を参考に決定した。この位置関係を図.12 に示す。図の赤い枠内に自転車が入ると、搭乗者の顔を画像に記録することができる。この赤い枠を記録可能範囲とする。具体的には、ロボットの前方 x 軸方向に 2.0~3.0m、左 y 軸方向に 1.5~2.5m の範囲とした。

次にロボットの動作計画について述べる。前章で求めたロボットに向かってくる自転車の移動速度推定を基に、自転車の走行軌跡を予測する。ここで自転車の走行軌跡を等速直線運動と仮定する。このとき、自転車が記録可能範囲の中に入るためには、予測された走行軌跡の直線から 2m 離れた平行な直線を走行すればよい。このときの動作計画を図.13 に示す。図のオレンジの直線が予測された自転車の走行軌跡の直線であり、緑色の直線がロボットの目標軌跡である。この目標軌跡を走行するように、ロボットを動作させる。

記録のタイミングについては、自転車が記録可能範囲に入った際に、画像の記録を行う。

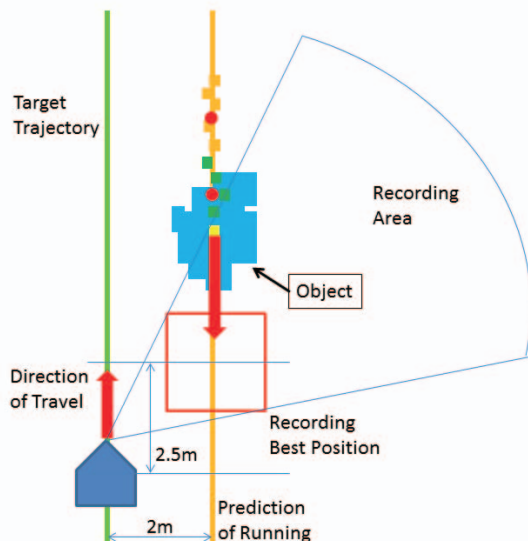


Fig.12 Example of Recording Point

### 4. 検証実験

本システムで自転車の搭乗者の顔が記録できるか実証実験を行った。実験では、10km/h、15km/h、20km/h の速度の自転車で画像の記録を行った。図.14 に記録した画像を示す。上から 10km/h、15km/h、20km/h の記録結果である。いずれも、画像のほぼ中心で搭乗者の顔が記録できている。

次に、ロボットの進行方向から左斜め 60 度の方向から接近する自転車を対象に画像の記録を行った。図.16 に記録した画像を示す。このときの自転車の速度は、10km/h である。また、ロボットの動作を図.15 に示す。

以上のことから、速度の変化や左斜めから接近してきた場合において記録が可能であることがわかる。

### 5. まとめ

本稿では、屋外移動ロボットにセンサを搭載し、走行する自転車等を認識して、移動速度を推定することにより、自転車の搭乗者の顔を記録する方法とその評価実験について述べた。本システムは、ステレオビジョンと測域センサを用いることにより自転車の認識を行い速度を推定する。次に、推定結果を基に搭乗者の顔がカメラで記録できる位置に移動する。実証実験では、速度の異なる自転車を対象に画像の記録を行ない、システムの有用性を示した。また、左斜め方向から接近する自転車を対象に、ロボットが自転車を記録できる位置に移動することを確認した。ただし、移動の時間の考慮ができていないので、記録できない可能性がある。

今後の課題としては、すれ違う自転車に対してロボットの移動時間を考慮する必要がある。また、左側を走行してきた自転車や右斜め方向から来た自転車を記録するための動作計画も検討しなければならない。このような問題点について改良できるように研究を行う予定である。

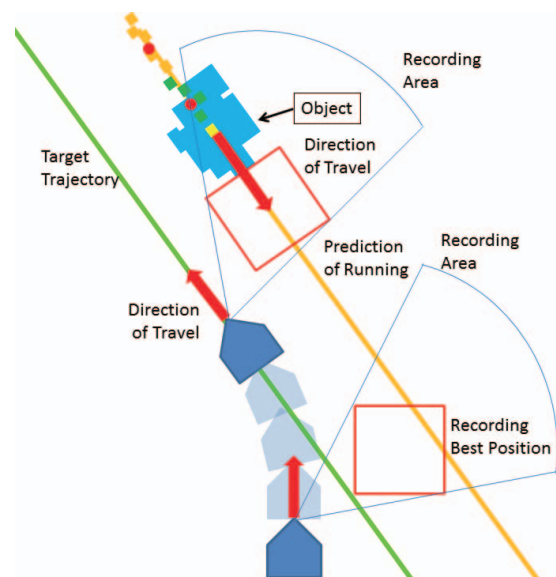


Fig.13 Example of Recording Point

## 参考文献

- [1] 田所, 木村, 坪内, ほか: 「つくばチャレンジ 2011 における筑波大学知能ロボット研究室『屋外組』の取り組み」, 第 12 回 SICE システムインテグレーション部門講演会 (SI2011), 301-4, 2011.
- [2] Masaaki Kitaoka, Atsushi Yamashita, and Toru Kaneko : " Obstacle avoidance and path planning using color information for a biped robot equipped with a stereo camera system ", Proceedings of the 4th Asia International Symposium on Mechatronics, pp.3 8-43, 2010
- [3] 森川: "ステレオビジョンを使った屋外自律走行用ロボットの為の障害物検出", ロボティクス・メカトロニクス講演会 '09, 1A1D08,(CD-ROM), 2009.
- [4] 田所, 坪内: "ステレオビジョンによる屋外を移動するロボットからの移動物体検出 ", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, 1P1-M09 ,(CD-ROM), 2011.
- [5] 竹内, 坪内: 「異種複数センサに対応した移動ロボット用ナビゲーションソフトウェアの公開」, ロボティクス・メカトロニクス講演会 '08, 1P1-E22, (CD-ROM), 2008.
- [6] 画像処理ソリューション ラベリング処理アルゴリズム:  
<http://imaging-solution.blog107.fc2.com/blog-entry-193.html>



**Fig.14** Recorded Images from Fig.12 (Top)The Bicycle Running 10km/h (Middle)The Bicycle Running 15km/h (Bottom)The Bicycle Running 20km/h



**Fig.15** Running Action with an External Camera



**Fig.16** The Recorded Image from Fig.13