

すれ違う人に声を掛ける巡回移動ロボット

木村 剛実 (筑波大学), 大矢 晃久 (筑波大学)

Patrol Mobile Robot To Greet Passing People

Takemi KIMURA(Univ. of Tsukuba), and Akihisa OHYA(Univ. of Tsukuba)

Abstract— This research aims at the development of a mobile robot to perform greetings to people passing in the environment. This paper describes the algorithm of human detection, tracking, prediction of movement and a method of determining the target tracking by camera and consideration of the range and timing of greeting and experiments of the system integrated them.

1. はじめに

1.1 背景・目的

近年, 人とロボットが共存できる環境が望まれている。ロボットが人とコミュニケーションをとることが出来れば, 人とロボットが共存出来る世界に大きく近づくことが出来ると考えられる。そこで我々は人とコミュニケーションをとることの一つとして, 人への声掛けという部分に注目をおいた。人に声を掛けるということは, ロボットが人と同じように人と共存する上で重要な要素の一つである。これを移動ロボットに実装することで, より人との共存を可能に出来ると考えられる。村川ら [1] はコミュニケーションロボットのふるまいや声掛けの影響を調査する実験を行っている。しかし, ロボットは止まった状態で実験をしており, ロボットが移動しながら声を掛けるという点が本研究と異なる。

そこで, 本研究の目的は環境中で遭遇する人に声を掛ける移動ロボットの開発を試みることである。人への声掛けのシステムが完成すれば, 例として警備ロボットが声を掛けることにより, 万引きなどの犯罪を抑制することなどへの応用も考えられる。また, 今回使用したロボットには人を見つけるための測域センサの他にパンチルトズームカメラも搭載している。これは, 人と人がコミュニケーションをとるのに相手の顔を見るのと同じように, ロボットも人と同じように相手の人の顔の方を向くことによって, より円滑なコミュニケーションが行えると考えたからである。また, カメラを使用するとロボットが相手の顔を見るのと同時に記録を撮ったり顔認識により個人を識別した対応をすることなども可能になり, 警備ロボットなどに応用する際に役立つと考えられる。

1.2 システム構成

本研究で考えているシステムは, ロボットが移動しながら環境中で遭遇した人をカメラで追従し, 挨拶するタイミングになると挨拶と静止画の取得を行うというものである。このシステムを実現するために以下の要素が必要となる。

- ロバストな人の検出
- 人のトラッキング
- 人の動きの予測
- カメラによる人の追従

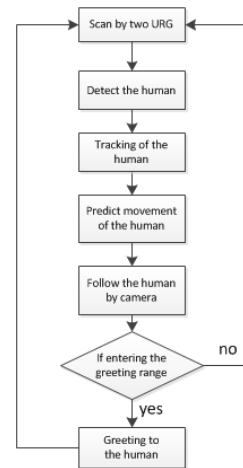


Fig. 1 Flowchart of the algorithm for greeting

- 挨拶するタイミングの決定
- 複数人に対する処理

また, 歩いている人を認識して, その人に声をかける一連の動作のアルゴリズムをフローチャートで表したものを図 1 で示す。まず, 外界センサのレーザー式測域センサで周囲を計測した後, 人の検出・トラッキング・動きの予測を行い, 人にカメラを向けるようにする。ここで, 検出した人が挨拶する範囲に入っているならば, 予め登録しておいた音声を再生し挨拶を行ってレーザー式測域センサの測定に戻り, 入っていないならばそのままレーザー式測域センサの測定に戻るといった処理とした。使用したレーザー式測域センサについては後述する。

2. 人の位置認識とトラッキング

2.1 外界センサ

外界センサとして, 筆者らの研究室で開発した実験用小型移動ロボットプラットフォーム「山彦」に搭載した北陽電機株式会社製レーザー式測域センサ"UTM-30LX"(以降 TopURG と呼ぶ)を使用した。この TopURG は人の胴体と足を見るために地上高約 100cm と約 30cm の位置にそれぞれ 1 つずつ搭載してある。以降, 胴体の高さにある TopURG を胴体 TopURG, 足の高さにある TopURG を足 TopURG と呼ぶ。

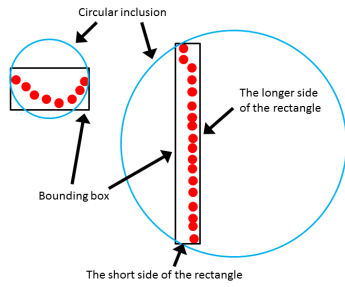


Fig. 2 Explanation of each feature

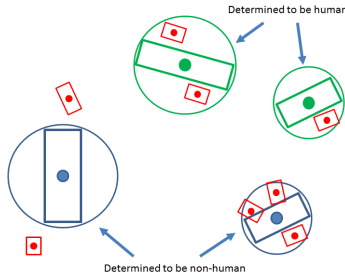


Fig. 3 Judgment of human or non-human

2.2 人の検出

小林らのふくらはぎの高さのレーザレンジファインダの距離データを円近似して人の足を検出する方法 [2] や、光永らの予め持っている地図データと現在のレーザレンジファインダの距離データの差分を取って人の足を検出する方法 [3] などのように人の検出方法は色々であるが、筆者らはこれまでに筆者らの研究室で開発した手法 [4][5] でやることにした。

胴体 TopURG のデータと足 TopURG のデータをそれぞれ隣の点との距離によってクラスタリングを行い、以下の特徴量を使用することにより胴体と足それぞれにおいて人らしい物を検出する。

- クラスタの点群の個数 (a)
- 点群の包含矩形の長辺の距離 (b)
- 包含矩形の長辺と短辺の比 (c)
- 包含円形の半径 (d)

ここでの点群の包含矩形とはクラスタリングしたクラスタの点群を全て含み、かつ最も面積が小さいように囲われた四角形のことを指す。また、包含円形は点群を全て含み、かつ最も面積が小さいように囲われた円形を指す。この 4 種類の特徴量を各クラスタ毎に計算する。これらの特徴量を抽出した例を図 2 に示す。小さな赤い丸い円が TopURG の点群を表している。

2.2.1 人の胴体と足の抽出

予め距離によって人の胴体や足の大きさに合うように各特徴量の閾値を調節し、その閾値内に計算した値が入っていればその特徴量に関しては人の胴体や足らしいと判断する。そして、4 種類の特徴量のうち 3 種類の特徴量が人の胴体や足

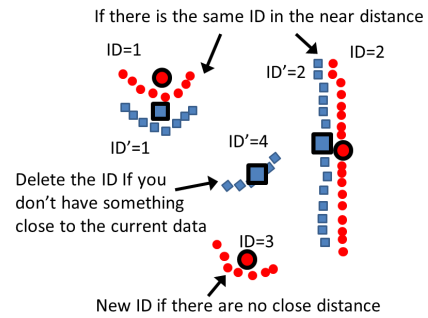


Fig. 4 Example of tracking

Table 1 Threshold value of each feature at the waist of human

dist[m]	(a)	(b)[m]	(c)	(d)[m]
~ 5	15 ~ 70	0.25 ~ 0.8	2.5 ~ 9.5	0.15 ~ 0.45
5 ~ 10	10 ~ 35	0.45 ~ 0.65	2.5 ~ 7.5	0.2 ~ 0.35
10 ~	5 ~ 18	0.4 ~ 0.85	3.0 ~ 20.0	0.15 ~ 0.45

Table 2 Threshold value of each feature at the leg of human

dist[m]	(a)	(b)[m]	(c)	(d)[m]
~ 6	20 ~ 35	0.15 ~ 0.32	1.0 ~ 10.0	0.05 ~ 0.4
6 ~	5 ~ 20	0.1 ~ 0.55	1.0 ~ 10.0	0.05 ~ 0.4

らしいと判断したとき、最終的にそのクラスタは人の胴体や足であると判断する。人の胴体と足の 4 種類の特徴量の閾値をそれぞれ表 1, 2 に示す。表 1, 2 の列の (a) ~ (d) は 2.2 節の各特徴量の (a) ~ (d) に相当する。また、dist は各クラスタの中心位置とロボットとの距離を示す。

2.2.2 両センサによる人の検出

胴体 TopURG による人の胴体と足 TopURG による人の足をそれぞれ検出した後、人の足らしいクラスタの中心点が人の胴体らしいクラスタの中心点からある閾値以内に入っている数が 1 個または 2 個見つかったら、その胴体らしいクラスタの中心点は人の中心点であるとした。この人として判断するかどうかの例を図 3 で示す。青や緑の大きい長方形が人の胴体らしいクラスタで、赤い小さい長方形が人の足らしいクラスタを示している。

2.3 トラッキング

胴体 TopURG のクラスタ毎に ID を割り当てることでトラッキングすることにした。図 4 に示すように、胴体 TopURG のデータのクラスタ毎に、1 スキャン前に保存した全ての ID 付きのトラッキングのクラスタの中心点と現在のクラスタの中心点との距離を測定する。距離がある閾値より小さい ID を探し、その中で最も距離の短い ID を現在のクラスタの ID であるとし、同じ ID に現在のクラスタの中心点の値を保存する。全ての ID に対してある閾値よりも大きい場合は、新しい ID を現在のクラスタに付けて保存する。ここで、図 4 の赤く丸い点群が現在のクラスタで青く正方形の点群が 1 スキャン前のトラッキングデータのクラスタとなって

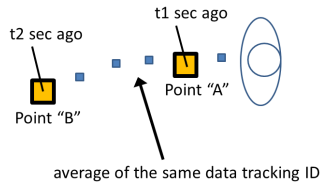


Fig. 5 Prediction of movement (1)

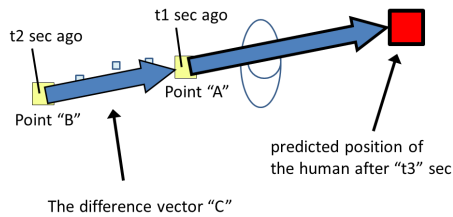


Fig. 6 Prediction of movement (2)

いて、周りよりも大きい赤く丸い点と青く正方形の点がそれぞれ現在のクラスタの中心点とトラッキングデータの中心点となっている。

また、TopURG の 1 スキャン毎にトラッキングの ID 毎に人だと検出したかどうかを判断し、人だと判断した場合は人らしさを表す変数の値に固定値を代入する。逆に人だと検出しなかった場合は人らしさを表す変数の値を-1 する。よって、同じトラッキングの ID において、ある一定時間人でない判断された場合は、人らしさを表す変数の値が 0 になる。

ここで、トラッキングデータを滑らかにするためにトラッキングした位置の時間的な移動平均を取ることにした。保存されているトラッキングデータの ID それぞれに対して、最新のトラッキングデータから過去 20 点分 (0 秒~0.5 秒) のデータの平均値を取得し、その平均値を新たな移動平均トラッキングデータとして保存する。

2.4 動きの予測

移動している人に対して動きの予測を行わない場合、カメラを追従させると遅れが生じてしまい、上手く追従できないという問題がある。よって、人を画像の中心で取得するために動きの予測を行う必要がある。

胴体 TopURG のデータのクラスタ毎に、保存してある全ての ID 付きのトラッキングデータのクラスタの中心点と現在のクラスタの中心点との距離を測定する。最も距離の近い ID を探し、人らしさを表す変数の値が 0 より大きい場合は、図 5 で示すように同じ ID の移動平均トラッキングデータの t_1 秒前に保存された値 A と t_2 秒前に保存された値 B を取得する。その後、図 6 に示すように点 B から点 A に向かっての差のベクトル C を導出し、点 A に差のベクトル C がある重みを掛けた値を足すことにより、 t_3 秒後に人が動くであろう予測位置を求める。逆に、人らしさを表す変数の値が 0 の場合は、予測位置の計算は行わない。

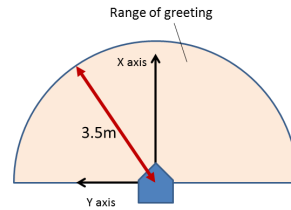


Fig. 7 The range of greeting

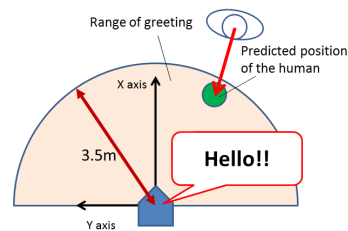


Fig. 8 The timing of greeting

3. 声掛けのアルゴリズム

3.1 挨拶する範囲

挨拶する範囲は、図 7 に示すようにロボットを中心とした半径 3.5m の半円であるとした。3.5m という値は、人が他の人と挨拶するときの距離を求める実験を行った際に求められた距離の値である。

3.2 挨拶するタイミング

挨拶するタイミングは、図 8 に示すように人がロボットの前方からやってきて、かつ 2.4 節の方法で求めた予測位置が 3.1 節の挨拶する範囲に入ったときに挨拶をするようにした。

3.3 静止画の保存

警備ロボットに应用する際に、どのような人とすれ違ったのかを確かめるために静止画を保存する必要がある。今回は挨拶するのと同時に、追従している人の静止画を保存する方法を取った。

3.4 カメラの追従対象の検討

他の人が複数人いる場合に人間ならどうするかを考えた結果、前方からやってきて、かつ挨拶する範囲に一番早く辿り着くであろう人に顔を向けるようにした。よって、ある時間 t_v 秒以内に挨拶する範囲に入ってくる人を優先してカメラで追従する方法を考案した。

3.5 人の到達時間の計算方法

3.5.1 アルゴリズム

以下の方法で、挨拶する範囲までの人の到達時間を計算する。説明の図を図 9 に示す。

- 1) 人の現在位置と速度ベクトルを算出し、ロボットに向かってくる人を探す

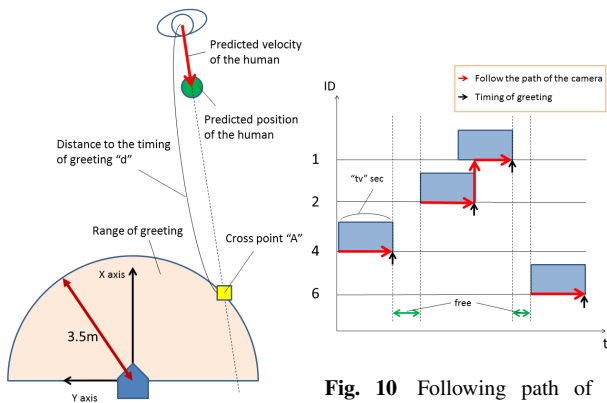


Fig. 9 Calculation of the reached time

- 2) ロボットを中心とした半径 3.5m の円 (挨拶する範囲) と速度ベクトルが交差するか判断
- 3) 交差するなら円と速度ベクトルの交点 A を算出
- 4) 人の現在位置と交点 A から到達距離 d を算出
- 5) 人の速度と到達距離 d から挨拶する範囲に到達するまでの時間を算出

この手法で tv 秒以内に挨拶する範囲に入ってくるかどうかを判定する。

3.5.2 例外処理の追加

上記の手法では、円との接線の方向に歩いてくる人がいた場合に、人の速度ベクトルの向きによっては時々円と交差しなくなり、到達時間を計算出来なくなるという問題が発生する。この問題を解決するために以下の例外処理を追加し、到達時間を計算することにした。

- 1) その ID が 1 スキャン前に tv 秒以内に到達すると判断したか求める
- 2) 到達する予定と判断し、かつ現在の速度ベクトルが円と交差しないう場合は、現在の速度ベクトルが円に接すると仮定
- 3) 人の現在位置からの円への接線より接点 A を算出
- 4) 人の現在位置と接点 A から到達距離 d を算出
- 5) 人の速度と到達距離 d から挨拶する範囲に到達するまでの時間を算出

この処理を追加することにより、円の接線方向に歩いてくる人がいても到達時間を計算出来るようになる。

3.6 カメラの追従対象の決定方法

3.6.1 tv 秒以内に到達する人がいる場合

tv 秒以内に到達する人が一人の場合は、その ID の人を追従対象にする。また、tv 秒以内に到達する人が複数人いる場合は、その中で最も到達時間が短い ID の人を追従対象にする。これをタイミングチャートで示すと、図 10 のようになる。図 10 の横軸は時間を縦軸はそれぞれの ID を示す。また、青い長方形は tv 秒を示し、赤い線はカメラの追従経路、黒い線は挨拶するタイミングを示す。

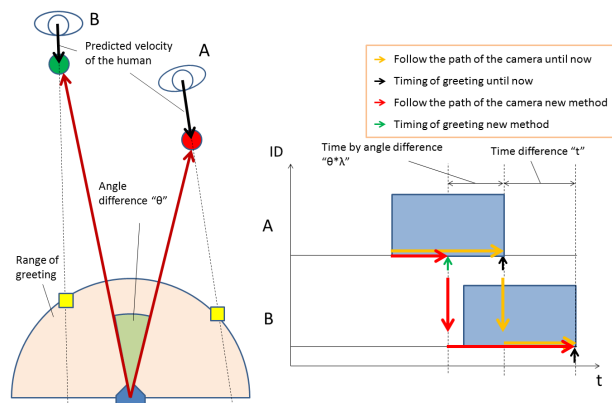


Fig. 11 Angle difference of two people

Fig. 12 New following path of camera and timing of greeting

上記の手法で基本的には問題ないが、到達時間がほとんど同じ人が複数人いる場合は、上記の手法では追従対象がチャタリングのように入れ替わってしまい、カメラの追従が追いつかなくなるという問題が発生する。この問題を解決するために、以下の処理を追加した。

- 1) 過去 40 回分の追従対象決定の処理の中で同じ ID の追従者が何回あるかそれぞれ算出
- 2) 同じ ID が 10 回以上ある ID を探す
- 3) 条件を満たす追従者の ID が 1 つの場合は、その ID が tv 秒以内に到達するしないに関わらず、カメラの追従対象にする
- 4) 条件を満たす追従者の ID が 2 つ以上の場合は、その中で多い方の ID をカメラの追従対象にする。

この手法を追加することにより、カメラの追従の際のふらつきを抑えることが出来る。

3.6.2 tv 秒以内に到達する人がいない場合

tv 秒以内に到達する人がいない場合は、以下の条件

- ロボットと同じ方向に動く人の ID
- ロボットを中心とした半径 3.5m の円と速度ベクトルが交差しないう人の ID
- 挨拶する範囲までの到達時間が tv 秒以上の人の ID

に合う人らしい ID が存在するならば、その ID を追従対象にする。また、この条件に対して複数人当てはまる場合は、その中でもロボットに一番近い ID を追従対象にする。

3.7 複数人の場合の追従対象決定方法

基本的には複数人いる場合でも 3.6.1 節の追従対象決定手法で問題ないが、最も到達時間が短い ID の人と 2 番目に到達時間が短い ID の人との時間差がほとんど無い場合は、2 番目の人に声を掛けることや静止画を保存する前に、通り過ぎられてしまうという問題が生じる。

この問題を解決するために 1 人目の声掛けと静止画の保存のタイミングを早めることで、2 人目の人にもカメラの追従を間に合わせ、声掛けと静止画の保存を行う手法を考案した。



Fig. 13 View of the robot



Fig. 14 View of the experimental environment

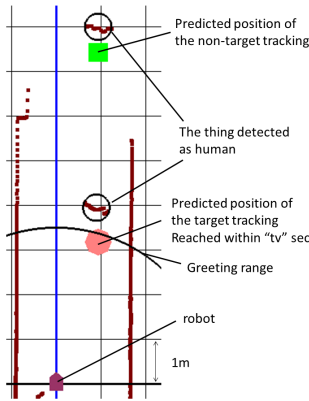


Fig. 15 Walking in line(1)



Fig. 16 Walking in line(2)

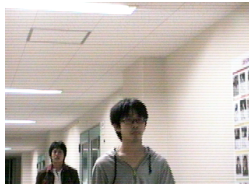


Fig. 17 Walking in line (1) (photo)

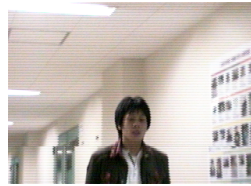


Fig. 18 Walking in line (2) (photo)

アルゴリズムを以下に示し、説明の図を図 11,12 に示す。

- 1) 最初に到達する人 A と 2 番目に到達する人 B の時間の差 t を算出
- 2) A と B のいる位置の角度の差 θ を算出
- 3) 時間の差 t と、角度の差 θ にカメラをパン方向に 1° 動かすのにかかる時間 τ を掛けた値 $\theta \cdot \tau$ を比較
- 4) $t < \theta \cdot \tau$ ならば、A の到達時間が τ になったときに挨拶と静止画の保存を行う

4. 実験

4.1 ハードウェア構成

使用したロボット「山彦」の外観を図 13 に示す。外界センサは胴体 TopURG と足 TopURG を搭載している。胴体 TopURG の上部に人間の映像を取得するために Canon 製のパンチルトズームカメラ"VC-C4"(以降カメラと呼ぶ)を搭載してある。このカメラには人がロボットの方に注意がいくように顔を付けており、口の部分がカメラのレンズになっている。

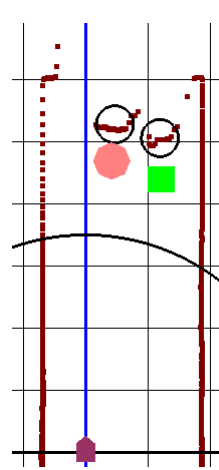


Fig. 19 Walking side by side two people(1)

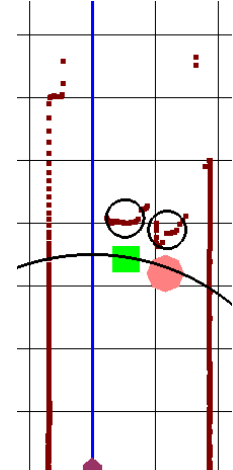


Fig. 20 Walking side by side two people(2)



Fig. 21 Walking side by side two people(1)(photo)

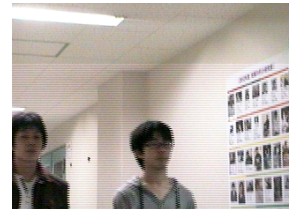


Fig. 22 Walking side by side two people(2)(photo)

る。また、顔の目の部分にはスピーカーを搭載し、顔が向いた方向に声を出せるようにした。

4.2 実験結果・考察

2~3 節で説明したアルゴリズムを統合して、人に挨拶を行う実験を行った。実験環境は図 14 に示すような、筑波大学第 3 エリア L 棟の廊下を使用した。今回の実験では 2.3 節の人らしさを表す変数 $\alpha = 150$, 2.4 節の時間 $t_1 = 0.25(s)$ 、 $t_2 = 0.75(s)$ 、 $t_3 = 0.5(s)$, 3.4 節の到達時間 $t_v = 5(s)$ とした。

また以下の個別の場面を想定し、場面毎に結果と考察を述べる。

- 1) 列になって人が歩いてくる場合
- 2) 人が並んで歩いてくる場合
- 3) 途中で人が追い抜く場合
- 4) 人が離れて並んで歩いてくる場合

4.2.1 列になって人が歩いてくる場合

人が距離を置いて列になって歩いてくるときの、胴体 TopURG の点群データと予測位置、カメラの追従対象を表したものを図 15 に、そのときのカメラで取得した画像を図 17 に示す。図 15 の丸く囲っているのが人を表していて、ピンクで塗りつぶされた丸が t_v 秒以内に到達するであろう人の予測位置、緑で塗りつぶされた四角が追従対象でない人の予測位置を表している。図 15 より、ロボットから見て近い人がカメラの追従対象になっていることが分かる。また、図 16 より 1

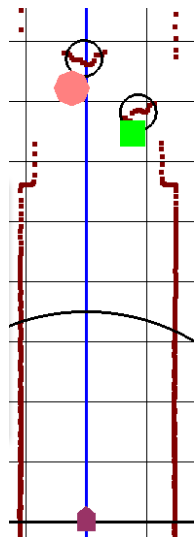


Fig. 23 Overtake on the way

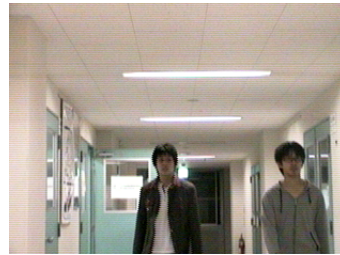


Fig. 24 Overtake on the way(photo)

人目が通り過ぎて 2 人目がカメラの追従対象になっているのが分かる。

4.2.2 人が並んで歩いてくる場合

人が 2 人並んで歩いてくるときの、胴体 TopURG の点群データと予測位置、カメラの追従対象を表したものを図 19 に、そのときのカメラで取得した画像を図 21 に示す。図 19,21 より、最初に到達する人が挨拶の範囲に入る前に静止画を保存しているのが分かる。図 20,22 では途中からもう一人の人が追従対象になって、静止画も 2 人目が画像の中心になっているのが分かる。

4.2.3 途中で人が追い抜く場合

2 人が列になって歩いていて途中で後ろの人が前の人を追い越すときの、胴体 TopURG の点群データと予測位置、カメラの追従対象を表したものを図 23 に、そのときのカメラで取得した画像を図 24 に示す。図 23,24 より、前の方に人がいるが、後ろの人の方が歩く速度が速いと判断しているためカメラの追従対象が後ろの人になっているのが分かる。

4.2.4 人が離れて並んで歩いてくる場合

人が 2 人離れて並んで歩いてくるときの、胴体 TopURG の点群データと予測位置、カメラの追従対象を表したものをそれぞれ図 25, 26 に、そのときのカメラで取得した画像をそれぞれ図 27, 28 に示す。図 25,27 より、2 人の位置の角度差が大きいため最初に到達する人が挨拶の範囲に入る前で、かつ 4.2.2 節のときよりも早めに静止画を保存しているのが分かる。図 26,28 では 4.2.2 節と同じように、途中からもう一人の人が追従対象になって静止画も 2 人目が画像の中心になっているのが分かる。

5. まとめと今後の課題

今回はレーザー式測域センサによる人の検出・トラッキング・動き予測と人の到達時間と複数の人を考慮したカメラの追従対象の決定方法、挨拶する範囲やタイミングの検討、および挨拶する実験の結果と考察について述べた。

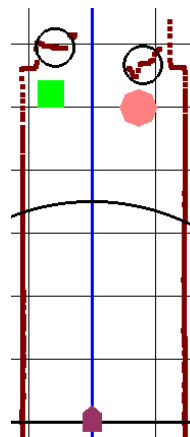


Fig. 25 Walking away side by side two people(1)

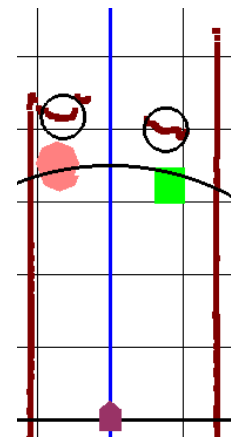


Fig. 26 Walking away side by side two people(2)



Fig. 27 Walking away side by side two people(1)(photo)

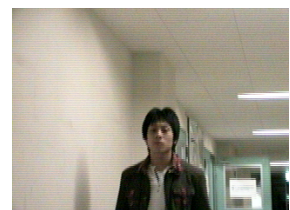


Fig. 28 Walking away side by side two people(2)(photo)

今後の課題として、現在人の身長を 170cm と決めうちにしてカメラのチルト方向を動かしているのが、人の身長を測る方法を考える必要がある。また、現在は少人数で実験を行っているが、実際に人通りがあるところで実験を行いたいと考えている。さらに、ロボットの一部分を光らせてたりなどの人の注意を引くような工夫を行う必要がある。

参考文献

- [1] 村川 賀彦, 十時 伸: "サービスロボットによる「ふるまい」の評価 - 商業施設での試験運用 - ", *Human-Agent Interaction Symposium 2006*, 20S-B-2.
- [2] 小林 祐輔, 監物 建秀, 渡辺 寛望, 小谷 信司: "移動ロボットに搭載した測距センサを用いた円形物体判別による人検出", 第 29 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ), AC2L2-6, September 2011.
- [3] 光永 法明, 宮下 敬宏, 小暮 潔, 吉川 雄一郎, 石黒 浩, 萩田 紀博: "日常空間で対話できるコミュニケーションロボット Robovie-IV", 電子情報通信学会
- [4] A. Carballo, A. Ohya, and S. Yuta: "People detection using range and intensity data from multi-layered laser range finders", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 5849-5854, October 2010.
- [5] A. Carballo, A. Ohya, and S. Yuta: "Laser reflection intensity and multi-layered laser range finders for people detection", *19th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 406411, September 2010.