

移動ロボットの動作による人間の行動制御

Adaptive Human Direction Control Using Mobile Robot's Behavior

関根 大輔 (筑波大) ○ 川田 浩彦 (筑波大)
正 大矢 晃久 (筑波大) 正 油田 信一 (筑波大)

Daisuke SEKINE, Univ. of Tsukuba
Hirohiko KAWATA, Univ. of Tsukuba
Akihisa OHYA, Univ. of Tsukuba
Shin'ichi YUTA, Univ. of Tsukuba

In this paper, we describe a robot system to control human detection. In our proposed system, the robot surveils a security area with equipped SOKUIKI sensor, ordinarily. When it detect trespasser who is for the area, robot calculates his velocity vector, plans own path to forestall and interrupt him and starts to move along the obtained path. While moving the robot continues these processes for adapting change of situation. After arriving at a trespasser's opposite position, the robot advises him not to be headed more and change his course. Our experimental results show the robot can estimate human's future trajectory and calculate appropriate its own path.

Key Words: Security Robot, Sokuiki Sensor, Path Planning, Human Direction Control

1. 緒言

今日の不安感の高まりに起因して、監視カメラ、警備ロボット等の人間によらない安心・安全のためのシステムに注目が集まっている。

特に異常検出や屋内監視の役割を担い、警備員の代替業務を果たすための警備ロボットの研究は広く行われている[1][2]。実際の警備員の仕事としては不審な行動をとる人物に接近して注意を促すといったものがあるが、このような業務は既存のシステムでは代替できない。

そこで本研究では警備ロボットに着目し、その「移動できる」という利点をより積極的に生かすことでロボットの動作による注意喚起、人間の行動制御が行えるロボットシステムの構築を目的とした。

2. 方針

2.1 実現すべき動作

本研究の適用環境としては、目立った障害物がなく床面も平らなオフィスビルの玄関ホール等を想定している。通常の人々の流れは入口とエレベータを結んだ直線上にあると予想される。この状況においてロボットは人の流れを監視し、標準的な流れから外れた人間を発見すると、それを不審な動きと

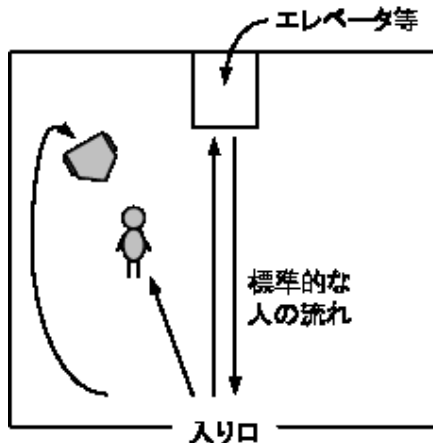


Fig.1 The robot moves trespasser's opposite position and interrupts him

みなしてその人間の正面に移動し進行を妨げる(図1)。そこで人間の動きが止まって引き返すようであればロボットも最初の位置に戻って監視を続行する。逆に進行を止めないようであれば、押し返すなどの強い対応に出る必要がある。このような動作を実現することで、人間に対して動作による注意喚起が行えると考える。

本稿ではこのうち図1に示したような人間に対する回り込み動作について述べる。

2.2 人間の位置と速度の算出

実験システムの概要については後で述べるが、本研究では外界センサとして測域センサを用いることとした。そのため、測域センサから得られる距離データをもとに移動体の位置・速度算出を行なう必要がある。図2は、測域センサの測距周期を T としたときの時刻 $t_k = T \times k$ と $t_{k+1} = T \times (k+1)$ における、人間の測距データを単純化して表したものである。小さな丸を測距点とすれば、その平均位置から測距点の重心が \times 印のように求められる。本研究においては、この測距点の重心位置を人間の位置として考えることにした。測域センサでは人間の片側しか測定できないため重心位置は測域センサ側にずれることが難点であるが、その反面、算出が容易であ

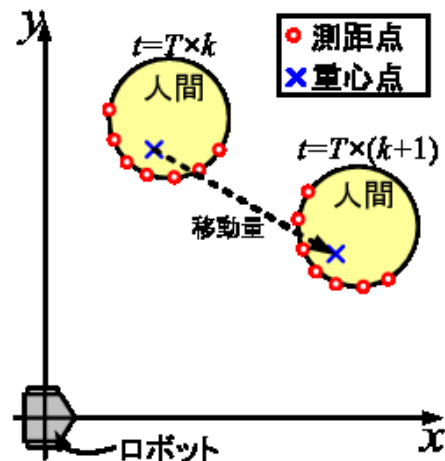


Fig.2 Human tracking with SOKUIKI sensor

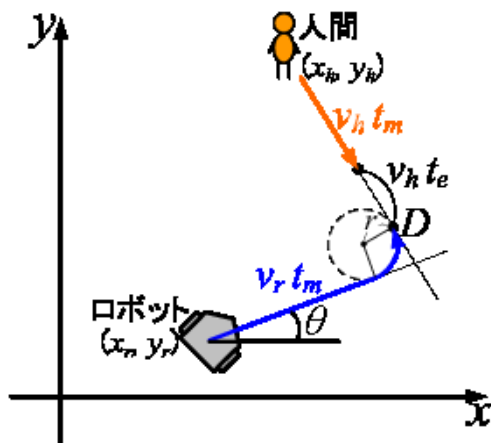


Fig.3 Path of robot for interrupting the trespasser

るといふ利点がある。

人間の速度については図2にあるように、重心の位置の時間変化を見ることによって求める。精度良く人間の速度を求める手法としては人間をモデル化し、拡張カルマンフィルタを用いて速度を推定するもの等[3]もあるが、本研究では重心位置の時間変化を二次ローパスフィルタに通した値を計測対象速度として用いることとした。

2.3 移動体と静止物体の識別

人間の位置を距離情報の重心から求めるには、測域センサの距離情報から人間の距離情報のみを抜き出す必要がある。本研究では人間=移動体であるという考えに基づいて、移動している物体の距離情報のみを抜き出すことで人間と環境の識別を行うことにした。距離情報の中で移動体と静止物体を識別するには複数時間の距離情報の差分をとる手法等[4]が多く用いられる。しかし本研究では、人間の動きに機敏に対応するため、センサを搭載したロボットが高速で移動しながら人間を常時追跡する必要がある。このようにセンサ自身も移動する場合、単純に時間毎の差分をとる方法では移動体と静止物体の識別をうまく行うのは難しいと考えられる。そこで、センサ情報をクラスタに分割し、それぞれの速度ベクトルを計算することで移動体と静止物体の識別を行うこととした。

最初の処理として、測域センサから得られた距離情報を距離が近いもの同士で1つのクラスタに分類する(クラスタリング)。クラスタはその距離情報の平均値からその重心を求め、クラスタの位置として記録する。その際、クラスタの両端の点の距離がある一定値よりも長かった場合、その後の処理から除外する。次に、前回のクラスタの位置と、最新のクラスタの位置を比較し、最も近い位置にあるクラスタ同士を対応付ける。対応付けられた位置の変化量を二つの距離情報を取得した時間間隔で割ることによってそれぞれのクラスタの移動速度を算出する。算出された移動速度は二次ローパスフィルタを用いて高周波除去を行い、速度が閾値以上となったクラスタを移動体として分類する。

2.4 回り込み動作のための最適移動経路

回り込み動作を行う際の望ましい経路の条件としては、

- 1) 人間の正面に移動したときにロボットが人間方向を向いている。
- 2) 可能な限りロボットの移動距離が短い。



Fig.4 SOKUIKI sensor "Rapid-URG"

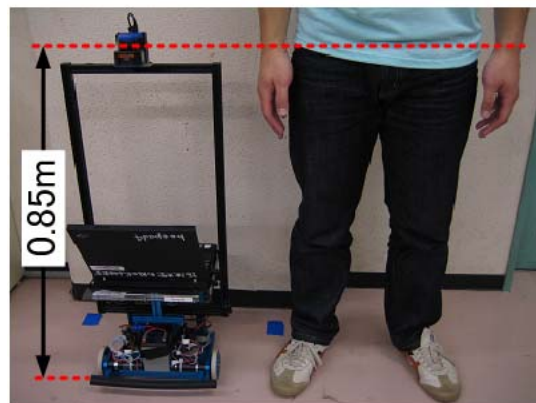


Fig.5 Mobile robot "Speego" equipped aluminum frame and Rapid-URG. Rapid-URG is set at waist level.

という二点が挙げられる。

人間の正面へ移動した際、人間方向を向いていないと警告対象が曖昧になる可能性がある。また、ロボットの移動距離が極端に長い場合、人間に追いつけない可能性がある。

そこで、図3に示すような経路を採用することにした。ロボットは直線と円弧上を移動し、人間の方向を向いた状態で人間の正面位置へ移動できる。これは経路が満たすべき二つの条件をバランス良く満たしていると考えられる。この経路を生成するにはまず、人間の進行方向に接する円を置き、さらにその円に接しかつロボットの位置を通る直線をひく。さらにロボットが目的地Dに達する時間と人間の移動時間 t_m が一致するという条件を加えることで経路を一意に決定できる。なお、図3において、ロボットの移動速度 v_r 、人間の移動速度 v_h 、人間の前に移動する時間余裕を t 。(ロボットが人間の正面へ移動した際、人間とロボットの距離が $v_h \times t_e$ となる)、円の半径を r とした。

3. 実験

3.1 実験システム

回り込み動作について実機による実験を行なうために、実験筐体としての移動プラットフォームとして "Speego" を、外界センサとしては北陽電機社製の測域センサ "UBG-04LX-F01" を用いる。以下にそれぞれの概要を示す。

3.1.1 測域センサ『UBG-04LX-F01 (Rapid-URG)』

UBG-04LX-F01 は北陽電機社製の小型・高性能のスキヤナ式レンジセンサである[5]。その外観を図4に示す。小型・軽量でありながら、約5.6mまでの範囲で高精度な測距が可能である。また、応答周期が約38Hzと高速であり、移動しながら人

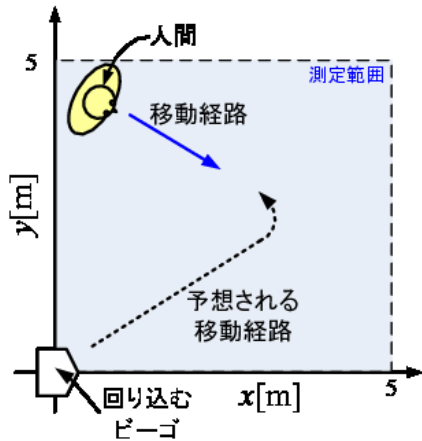
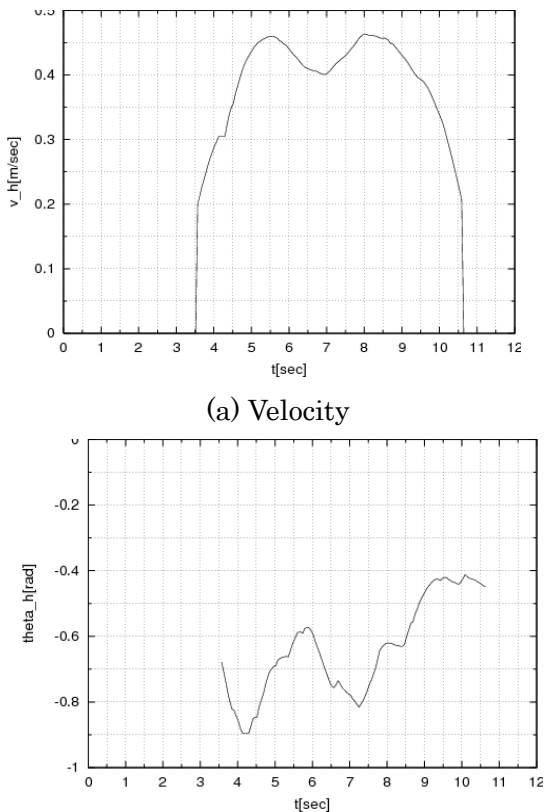


Fig.6 Path of robot for interrupting the trespasser

間を測定するのに適した測域センサと言える。

3.1.2 移動ロボット『Speego』

Speego は教育・研究用に開発された、車輪による移動機構を有する小型ロボットである。外界センサとして測域センサの利用を意識した設計となっており、実装が容易である。最高で 1.2m/sec の速さで移動が可能であり、人間が歩く程度の速さならば対応が可能であると考えられる。今回は人間の腰位置の高さを測域センサでスキャンするために、Speego にアルミフレームを取り付けてその上に測域センサを固定した。図 5 に示すようにスキャン面は床から高さ 0.85m であり、これにより人間の腰位置付近をスキャンすることができる。



(a) Velocity
(b) Posture
Fig.7 Human tracking results

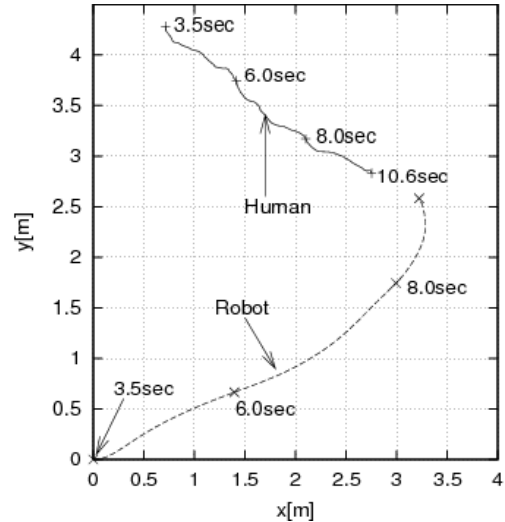


Fig.8 Trajectory of detected human and robot's odometry

3.2 実験概要

ロボットは図 6 のような 5×5[m] の範囲を測域センサによって監視している。人間、ロボットともに静止した状態から実験を開始する。人間が移動を開始し、ロボットがその動きから人間を移動体と判別した場合、図中の予想移動経路を通じて回り込み動作を行う。ロボットが人間の正面まで移動するとロボットは静止し、回り込み動作が完了する。

なお、ロボットの速度は直線追従時においては 1.0m/sec、円弧追従時では 0.5m/sec、追従する円弧半径を 0.5m とした。また、速度算出の際に用いるローパスフィルタは式 (1) のようなパラメータを用いた。

$$y = \frac{\omega_c^2}{s^2 + 2\xi\omega_c s + \omega_c^2} \times x \quad (\omega_c = 2\pi f_c, f_c = 0.25, \xi = 0.68) \quad (1)$$

3.3 実験結果

算出した人間の速度の時間変化を図 7 に示す。また、算出した人間の移動軌跡、およびオドメトリから得られたロボットの移動軌跡を図 8 に示す。実験の様子を図 9 に示す。これらの図を見ると、算出した速度が若干振動的にはなっているものの、ロボットがうまく人間正面位置へ回り込むことができていたことが確認できる。

4. まとめと今後の課題

本稿では、移動ロボットの動作による人間の行動制御に関する研究について、実現すべき動作、移動体の位置と速度の算出法、経路計算の流れ、環境を含む状況下での回り込み動作実験について述べた。低速の人間を対象としたものの、移動ロボットによる回り込み動作を実現できた。

今後の課題としては、ロボットの動作によって実際に人間の行動制御が可能であるのかについて検討を行う必要がある。実際の注意喚起等を行うにあたっては赤色灯、サイレン、カメラ等の取り付けについても検討が必要である。

文献

- [1] 袴田和則, 金本准一, 堀井浩司, 菅原雄介, 有木孝夫. "自律移動型ロボットの警備分野への応用" 第 14 回日本ロボット学会学術講演会予稿集.1, pp.143-144.1996
- [2] 竹下勉, 大矢晃久, 油田信一. "移動ロボットを用いた屋内監視巡

回システム". 第 11 回画像センシングシンポジウム講演論文集, J-33, pp.489-490, 2005-6.

- [3] 中村克行 他, "マルチレーザスキャナを用いた歩行者の抽出". 全国測量技術大会 学生フォーラム 2004 投稿論文.
- [4] 岩科進也, 山下淳, 金子透. "LRF 搭載移動ロボットを用いた動的環境における 3-D SLAM". 第 26 回日本ロボット学会学術講演会.
- [5] 北陽電機株式会社. <http://www.hokuyo-aut.co.jp/>



(a) 3.5[sec] (Initial position)



(b) 6.0[sec]



(c) 8.0[sec]



(d) 10.6[sec]

Fig.9 Experimental state each situation.