

屋外を高速移動可能な介助犬ロボットの研究開発

Development of a Service Dog Robot Walking Outdoor Dynamically

1071021

研究代表者

茨城大学 工学部 知能システム工学科 講師

福岡 泰宏

〔研究の目的〕

我が国の身体障害者補助犬（盲導犬，聴導犬，および介助犬）は慢性的に不足しており，育成に長期の時間と費用を要する。これを背景に，車輪型の身体障害者補助犬ロボットの開発はこれまでも行われているが，屋外の段差や凸凹路の高速移動が非常に困難である。一方で，申請者はこれまで屋外の段差，坂，非舗装路などを人が歩行する程度の速度で歩行可能な犬型の4足歩行ロボット「鉄犬」を開発してきた。この運動性能を生かして，身体障害者補助犬の中でも技術的に比較的実現しやすいと考えられる，迅速なサポートを行う介助犬ロボット（図1）を開発することを研究の目的とする。

介助犬は基本的に車椅子に乗った身体障害者の介助を行うことを目的としているため，常に車椅子に同行することが要求される。従って，本申請研究期間内においては，車椅子と仮定し

た歩いている人を動的追跡対象として追跡しながら歩き続ける機能を鉄犬に持たせることを目標とした。

〔研究の内容，成果〕

1. 追跡手法の提案

鉄犬による動的対象の追跡を遂行するにあたっての技術的課題は，移動する対象についていけるだけの運動能力，および見失わないための視覚や距離センサなどを用いた追従制御手法の確立が挙げられる。

鉄犬は，屋外において旋回半径 20 cm 以上の旋回能力，および 1.5 m/s 以内での高速歩行が可能であり，高速に移動する車椅子を追跡可能な運動能力を現時点で備えているので，動的対象物を追跡する制御手法の確立がここでの主な技術的課題となる。それに対応するために，2眼ステレオビジョンカメラと距離を検出するレーザレンジセンサを鉄犬に搭載することを検討した。申請者らはこれまでに，人の指示に対して簡単な行動を行う4足ロボットを試験的に開発していた。それは，上述した鉄犬にステレオビジョンカメラを搭載し，人の手のひらのパターン（「待て」，「来い」など）によって始動，停止，旋回などの動作を行わせるという実験である。ステレオビジョンカメラでは特徴物（この場合は手）の検出を行っており，そこでの検出率，および実験の成功率は比較的高かったため，車椅子のような特徴的な対象物の検出は比

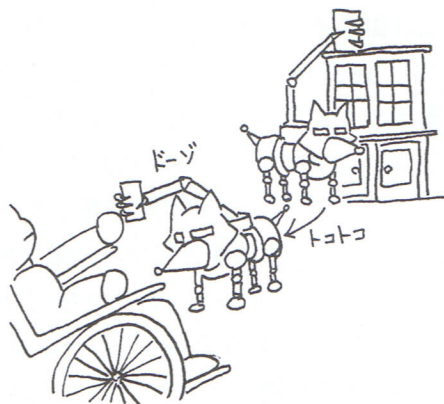


図1 介助犬ロボット予想図

較的容易に行えると考える。場合によっては、車椅子に特徴的な目印をつけて検出しやすくすることも可能である。しかしながら、介助犬が活動する屋外では、車椅子が走行するような舗装路であっても、小さな凹凸は無限に存在するため、そのような路面を歩行すればカメラ画像は時に大きく振動して車椅子を見失うことがある。そのような状況に対応するためにレーザーレンジセンサを搭載した動的対象追跡を本研究期間に主として行ったのでここで紹介する。ステレオビジョンカメラを用いる追跡法は今後の課題とし、レーザーセンサを用いる手法と組み合わせることでより高精度な追跡が可能になると考えている。

2. ハードウェアの構成

図2にレーザーレンジセンサ（北陽電機社レーザーレンジファインダURG-X 002 S）を首の下に搭載した鉄犬の画像を示す。レーザーレンジセンサでの距離検出範囲は地面から高さ220 mmの水平面において、前方180度とする。

3. 歩行者追従制御

追従制御とは、鉄犬の歩行者追従を実現するために行う歩行速度、進行方向制御のことである。本実験では、歩行者が鉄犬から離れるにつれて、鉄犬の歩行速度を大きくし、歩行者が鉄犬の進行方向から隔たるにつれて、鉄犬の旋回運動を急にし、歩行者と鉄犬の距離を一定に保つようを制御する。これらの制御は、鉄犬に塔

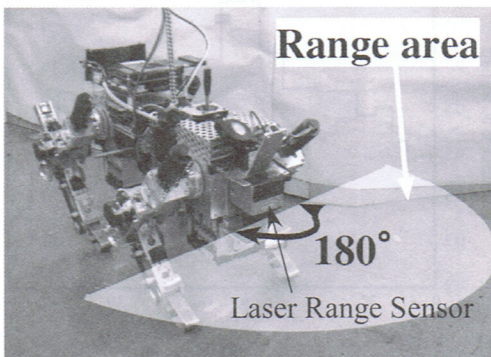


図2 鉄犬

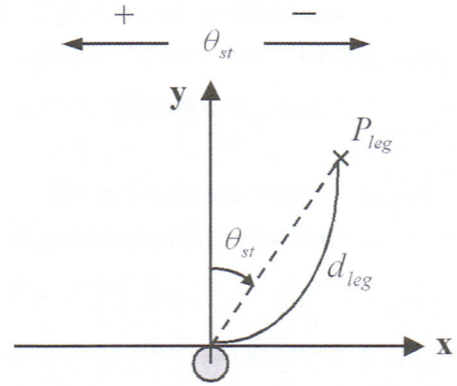


図3 歩行者追従制御に使用されるパラメータ

載されたレーザーレンジセンサからの距離データより算出される歩行者の脚の位置 (P_{leg}) に基いて行われる。本実験で使用されるパラメータを図3に示す。

レーザーレンジセンサの位置を原点とし、歩行者の脚の位置を P_{leg} とする。鉄犬の歩行速度制御のために、レーザーレンジセンサによって検出されたレーザーレンジセンサから P_{leg} までの距離 d_{leg} が使用され、鉄犬の進行方向制御のために、レーザーレンジセンサと P_{leg} の成す角度 θ_{st} が用いられる。ただし、 θ_{st} は、y 軸の左側を正方向とする。

鉄犬は、方向転換のためにヨー軸周りに膝下が回転する腰（ヨー）関節を備えており、直進歩行時常に図2のような位置（目標角度 $\phi_{(LF, RF, RF, RH)}^* = 0$ ）となるようにしているが、歩行者追跡歩行時は、進行方向を決定するために、腰（ヨー）関節の目標角度を支持脚の時のみ式1に変更する。

$$\begin{aligned}\phi_{(RF, RH)}^* &= \theta_{st} \times \pi / 180 [\text{rad}] \\ \phi_{(LF, LH)}^* &= -\phi_{(RF, RH)}^*\end{aligned}\quad (1)$$

これは、レーザーレンジセンサと歩行者の脚の位置 P_{leg} の成す角度 θ_{st} をそのまま支持脚の腰（ヨー）関節の目標角度とすることを意味する。

また、歩行速度を決定するために、ピッチ軸周りに回転する腰（ピッチ）関節の目標角度 $\phi_{present}^*$ を支持脚の時のみ式2に変更する。

$$\begin{aligned}
 v^* &= d_{leg}/1000 [m/s] \\
 \Delta\varphi_{present} &= 5.0 \times (v^* - v) \quad (2) \\
 \Delta\varphi'_{present} &= \frac{\Delta\varphi_{present} + 500\Delta\varphi_{last}}{501} \\
 \varphi^*_{present} &= -(50 + \Delta\varphi'_{present}) \times \pi/180 \\
 &\quad + (Body\ pitch\ angle) [rad]
 \end{aligned}$$

式2において、まず、レーザーレンジファインダから P_{leg} までの距離 d_{leg} を用いることで、目標歩行速度 v^* が算出される。さらに v^* を使い、現在の歩行速度 v と比較することで腰（ピッチ）関節の角度の増加分 $\Delta\varphi_{present}$ が導かれる。ここで、 $\Delta\varphi_{present}$ を1サンプリング前のそれ（ $\Delta\varphi_{last}$ ）によって平滑化する。これは、歩行速度の急な変化による滑り为了避免のために行われる。最後に、平滑化された $\Delta\varphi'_{present}$ に鉄犬のピッチ軸まわりの胴体の傾き *Body pitch angle* を加えたものを腰（ピッチ）関節の目標角度とし、PD制御を行う。なお、 $\varphi^*_{present}$ を算出する際に用いた50は、ヒューリスティックに決定した値である。

4. 実験結果

歩行者追従実験の内容を以下に記述する。

- 障害物無し
- 歩行者は移動方向を左右に変化
- 歩行者の歩行速度が変化

図4に、歩行者追従実験の概略図を示す。歩行者の移動方向は、まず右に変化し、次に左に変

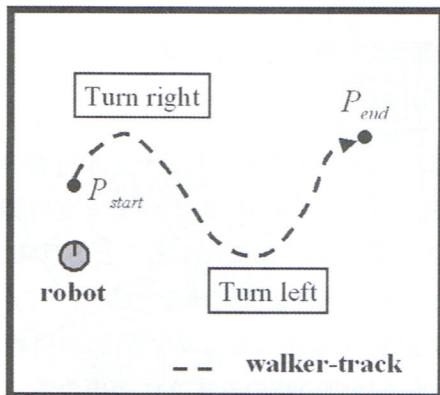


図4 歩行者追従実験の概略図

化をし、停止する。歩行者のスタート、ストップ地点は P_{start} , P_{end} でそれぞれ表される。実験の様子を図5に示す。図6は鉄犬のレーザーレンジセンサから脚までの距離（ d_{leg} ）を表す。 d_{leg} が約6秒後に増加、すなわち、歩行者が鉄犬から遠ざかると、鉄犬の歩行速度（図7）が約7秒後に増加しているのが見て取れる。本実験

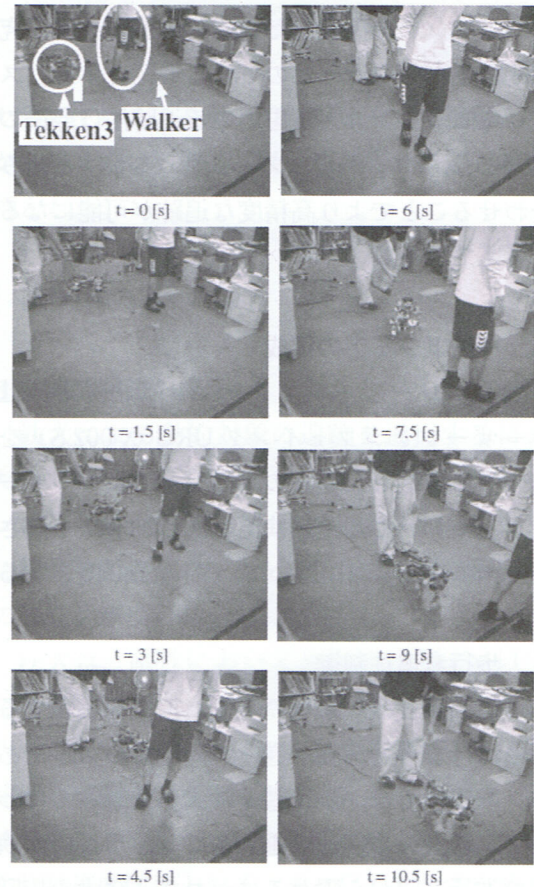


図5 歩行者追従実験

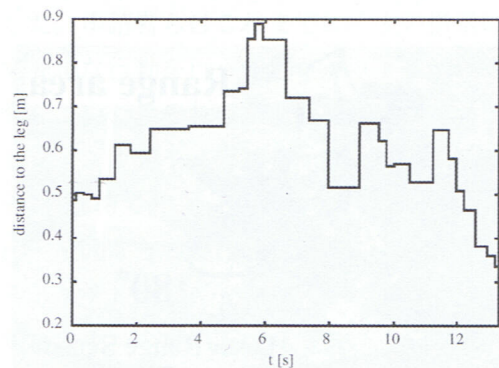


図6 レーザーレンジセンサから歩行者の脚までの距離（ d_{leg} ）

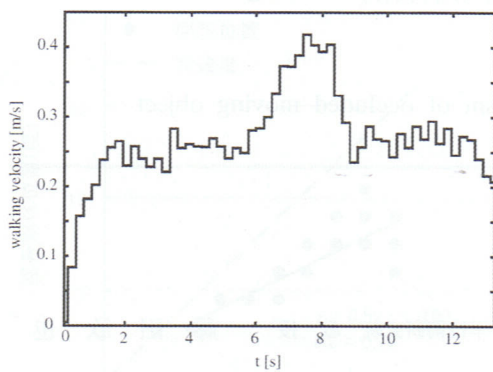


図7 鉄犬の歩行速度

を通して、鉄犬は歩行者とほぼ一定の距離を保つように歩行速度が制御されていることがわかる。

[今後の研究の方向, 課題]

レーザーレンジセンサからの距離データに基づいて鉄犬の進行方向と歩行速度をリアルタイムで制御し、歩行者追従を実現した。鉄犬と歩行者の脚が成す角度を用い、鉄犬の腰（ヨー）関節角度の目標角度を設定することにより、進行方向の制御を行い、また、鉄犬から歩行者の脚までの距離を用い、鉄犬の腰（ピッチ）関節

角度の目標角度を設定することにより、歩行速度の制御を行った。しかし、その際に使用された各定数は、繰り返し行われた実験によりオフラインで決定された。これらの定数の大きさが鉄犬の旋回半径や加速度を大きく左右すると考えられるため、今後さらなる検討が必要である。

また、冒頭にも述べているように、レーザーレンジセンサによる歩行者追従が十分に行われた後にはステレオビジョンカメラを搭載し、より高い精度で歩行者追従ができるようにする必要がある。

[成果の発表, 論文等]

- (1) H. Kimura, Y. Fukuoka and A. Cohen: Adaptive Dynamic Walking of a Quadruped Robot on Natural Ground based on Biological Concepts", Int. Journal of Robotics Research, Vol. 26, No. 5, pp. 475-490 (2007)
- (2) Y. Fukuoka: A Quadruped Robot Walking along a Wall with a Laser Range Finder, Neuro-morphic Engineering Workshop, Telluride, USA, JULY 1 st- 21 st (2007)
- (3) 福岡: レーザーレンジファインダを用いて人を追従する4足動歩行ロボットの研究開発, 茨城講演会 (2008. 9 発表予定).