



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



温度画像を用いた移動ロボットのナビゲーションに関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学地域共同研究開発センター 公開日: 2016-11-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 花島, 直彦, 樽海, 靖孝 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009072

温度画像を用いた移動ロボットのナビゲーションに関する研究

花島 直彦*¹, 樽海 靖孝*²

1 はじめに

温度を可視化するサーモグラフィは医療、保健衛生、設備の管理、消防など様々な分野で応用されている。サーモグラフィから表示部分を除きカメラ部分のみとして、これをUSBやイーサネットなどでパソコンに接続できる装置も市販されてきている。このような装置を移動ロボットに搭載して、調査、探索、監視などに活用する事例もある。

可視光の画像から人間を検出するためにはパターンマッチングなどの画像認識手法を用いる必要があり、計算コストは大きい。一方で温度画像も用いれば、体温を手がかりにその検出は容易となる。そのほか、危険な高温の物体も検出可能である。環境中に一定温度の物体があれば、それを移動制御の目印（ランドマーク）として活用することも可能である。本研究では、このような温度画像の特徴に注目し、これを移動制御に活用する技術の蓄積を目的として技術開発を行なった。

ランドマークには市販のペルチェ温度コントローラを用い、温度画像からランドマークへの距離を算出する部分を（株）CSソリューションが、ランドマーク情報をもとに移動ロボットのナビゲーションをする部分を室蘭工業大学が担当してプレ共同研究を進めた。

2 熱源ランドマークと位置推定

移動ロボットの作業環境に絶対位置が既知のランドマークがあり、それを移動中に検出できれば、ロボット自身の位置を逐次逆算できる。サーモグラフィの使用を前提とする場合、温度を調整できる熱源ランドマークを環境中に配置することになる。

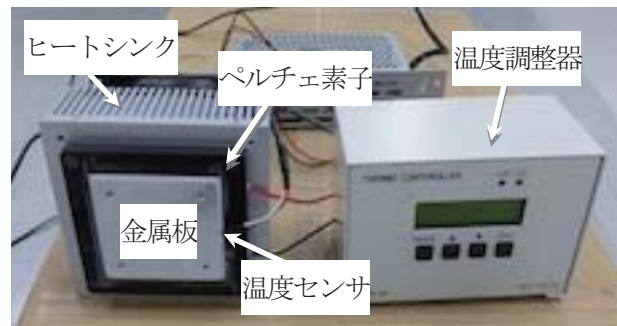


図1 ペルチェ式 熱源ランドマーク

ここでは、図1のような市販のペルチェ温度コントローラ（（株）ビックス、空冷入門キット）をランドマークに採用した。ペルチェ素子は金属板とヒートシンクではさまれており、センサが取り付けられている金属板の温度を、温度調整器により -30°C ～ 80°C の間で一定に保つことができる。金属板の放射率は低いいため、金属板表面にビニルテープを貼って対処した。温度調整器の設定を 65°C としたが、サーモカメラでは 10°C 程度低く測定されたため、実験では 55°C の物体をランドマークとして認識するようにした。

ランドマークの位置推定は文献[1]で提案されている手法による（図2）。環境中の既知の高さ D の場所にランドマークを置き、カメラを上向き角度 δ に設置する。

*1 もの創造系領域

*2 工学部機械システム工学科

カメラの熱画像におけるランドマークの位置から、仰角 α と方位角 β が計算できる。これらを使って次式により、水平面上のランドマークの座標 (x_t, y_t) を得る。

$$\begin{cases} x_t = \frac{D}{\tan(\alpha + \beta)} \\ y_t = x_t \tan \beta \end{cases} \quad (1)$$

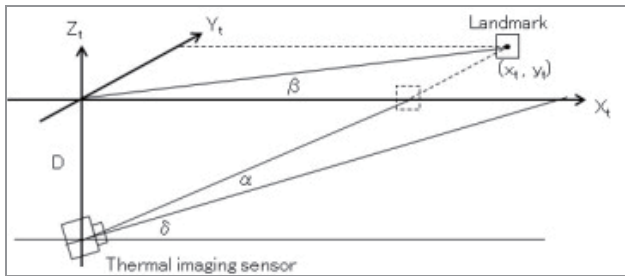


図2 ランドマークとサーモカメラの座標上関係

提案手法の推定精度を確かめるため実験を行った。使用した熱画像センサ（株式会社チノー製，TP-L0225EN）は、画素数 48×47 、視野角 $25^\circ \times 25^\circ$ であり、イーサネットのインターフェースを備えている。図2において、ランドマーク設置高さ D を 30cm 、カメラの仰角 δ を 16° とした。図3は $y_t = 0\text{[cm]}$ 、 x_t を $20 \sim 100\text{[cm]}$ まで 10[cm] 刻みとしたときの測定値と真値のグラフ、逆に図4は $x_t = 50\text{[cm]}$ 、 y 座標を $-15 \sim 15\text{[cm]}$ まで 5[cm] 刻みとしたときのグラフである。

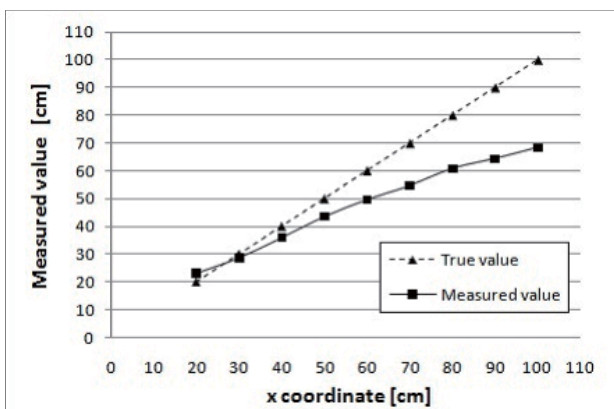


図3 x_t の測定値と真値のグラフ

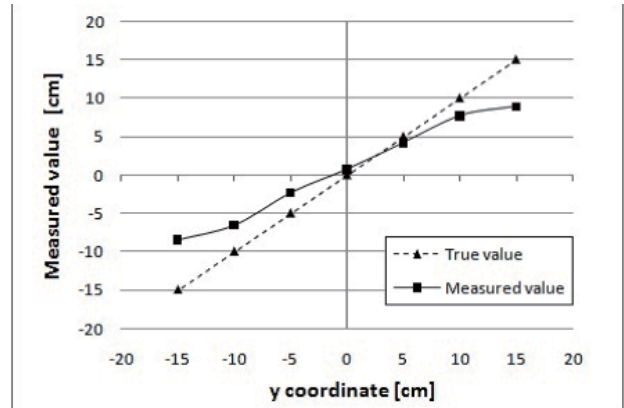


図4 y_t の測定値と真値のグラフ

グラフより x_t, y_t とともにランドマークから離れるほど測定値と真値の差が広がり、誤差が大きくなる傾向が見られる。

3 移動ロボットのナビゲーション

実験には、1/10スケールの車両，RoboCar (R) 1/10（株式会社ゼットエムピー製）を用いる（図5）。車両の全長は 42.9[cm] 、幅は 18.8[cm] 、ホイールベースは 25.6[cm] である。車輪にはロータリエンコーダを搭載し、OSとしてLinuxを採用している。当研究室ではフィールド調査を目的に、実車サイズの自律四輪車両も開発中であり、RoboCarにおいて実証されたナビゲーション手法をこちらに適用することを想定している。

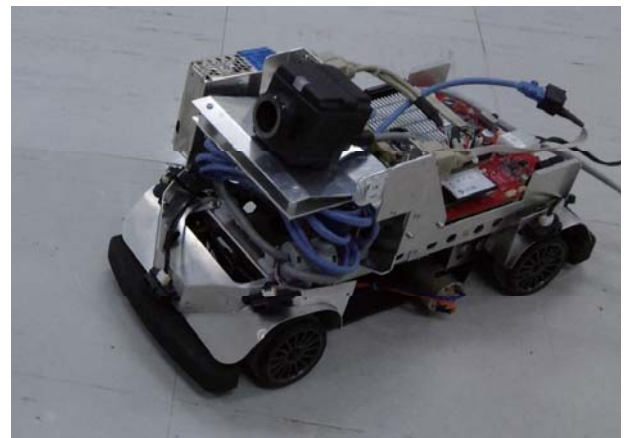


図5 RoboCar 1/10

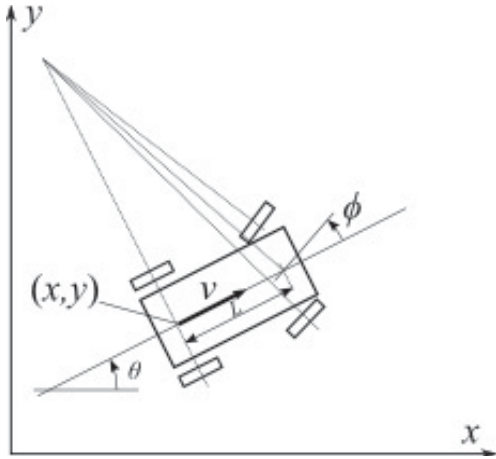


図6 四輪車両の座標系

ここでは、移動ロボットのナビゲーションに経路生成型レギュレータ [2] を用いる。図6に四輪車両の座標系を示す。車両の位置は後輪車軸の中心座標で、車両の向きは x 軸からの角度で表す。制御入力として、車両の進行速度 v 、操舵角度 δ を用いる。 L はホイールベースである。車輪は横滑りせず車軸方向の速度を 0 と仮定すると、車両の運動を表す次の方程式が得られる。

$$\begin{cases} \dot{x} = u_1 \cos \theta \\ \dot{y} = u_1 \sin \theta \\ \dot{\theta} = u_2 / L \end{cases} \quad (2)$$

なお、 u_1, u_2 は次式のようにおいた。

$$\begin{cases} u_1 = v \\ u_2 = v \tan \phi \end{cases} \quad (3)$$

$u_1 = 0$ のとき、 $\dot{x}, \dot{y}, \dot{\theta}$ がともに 0 となり、車両は静止状態となる。

目標経路関数群をベキ関数 $y = ax^n$ (a は定数、 n は正の整数) とした場合、(2)式に対する経路生成型レギュレータの制御則は次のようになる。

$$\begin{cases} \dot{x} = u_1 \cos \theta \\ \dot{y} = u_1 \sin \theta \\ \dot{\theta} = u_2 / L \end{cases} \begin{cases} \dot{x} = u_1 \cos \theta \\ \dot{y} = u_1 \sin \theta \\ \dot{\theta} = u_2 / L \end{cases} \begin{cases} \dot{x} = u_1 \cos \theta \\ \dot{y} = u_1 \sin \theta \\ \dot{\theta} = u_2 / L \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_1 = -(\lambda_1 x \cos \theta + \lambda_2 y \sin \theta) \\ u_2 = -L \lambda_0 \left\{ \theta - \tan^{-1} \frac{ny}{x} \right\} \\ \quad + \frac{Ln(x \sin \theta - y \cos \theta)}{x^2 + n^2 y^2} u_1 \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ はフィードバック定数である。 $u_1 \neq 0$ が成り立つ限りにおいて、原点における漸近安定性を示すことができる。制御の際には、(4)式で求めた u_1, u_2 を(3)式により v, ϕ に変換して車両に与える。

(4)式において $u_1 = 0$ の条件を満たす場合では、 $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{\theta})$ 、すなわち平衡状態となる。もしそうなった場合は、 ϕ を適切に変更し、 u_1 として適当な初期速度を与えることで、この平衡状態から離れるように操作する。

4 自己位置推定

(4)式よりわかるように、経路生成型レギュレータの適用には、車両の位置と姿勢情報が必要である。これまで、(2)式を数値積分することにより、 x, y, θ を推定していた(オドメトリ)。これを2節で示した熱源ランドマークの位置により補正する。

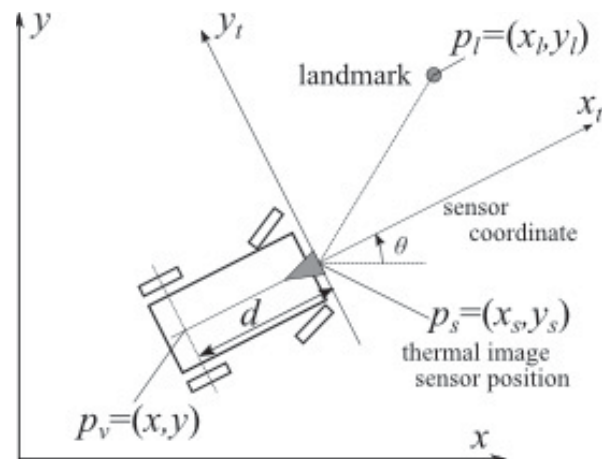


図7 ワールド座標系とセンサ座標系

まず, 図7に示すように, 地面にワールド座標系 $O-xy$ を, 車両上の熱画像センサにセンサ座標系 ${}^tO-x_t y_t$ を設定する. 熱画像センサは車軸中心から車両の進行方向に d だけ離れて設置されている. θ は数値積分により求めた車両の姿勢角である. センサ座標系における座標には t の文字を左上に付けて区別する. したがって, (1)式においては $(x_t, y_t) = ({}^t x_t, {}^t y_t)$ といえる. また, 2次元平面における角度 θ の回転行列を R_θ で表す. ワールド座標におけるランドマークの位置 p_l が既知のとき, ${}^t p_l$ と R_θ より, 車両の位置 p_v は次式で表せる.

$$p_v = R_\theta ({}^t p_v - {}^t p_l) + p_l \quad (5)$$

図3, 4 のグラフより x_t, y_t はランドマークとカメラの距離が大きくなるほど真値からの誤差が大きくなった. そこで,

(5)式による補正はその距離 $|{}^t p_l| = \sqrt{x_t^2 + y_t^2}$ が20cmから50cmの間のみ行なうことにした. それ以外の距離のときは, 従来からのオドメトリを用いる.

5 走行実験

5.1 熱源ランドマークへの収束

経路生成レギュレータをRoboCar に実装し, 原点に設置したランドマークを目標位置として追従走行させる. 熱画像センサは, 後輪車軸中心から車両前方23cmの位置に, 仰角 16° で, 車両前方に向けて設置した. ランドマークに接近しすぎると, 熱画像センサの視野角からはずれてしまうため, 後輪車軸中心が原点から50cm以内の範囲に入ったら車両を停止させることにした. 制御周期を 400[msec], 制御則内のパラメータは

$(L, n, \lambda_0, \lambda_1, \lambda_2) = (0.256, 2, 0.5, 0.05, 0.05)$ とし, 初期状態を $(x, y, \theta) = (-1, -2, \pi/4)$ に設定したときの実験

結果を図8に示す. 点線がエンコーダによる自己位置推定値, 実線が熱画像センサによる自己位置推定値の軌跡, 丸と三角は熱画像センサを使用した場合と, 使用していない場合の実際の停止位置を表している. 自己位置推定値の軌跡が点線と実線の間で途切れて離れているのは走行途中に熱源ランドマークを検知し自己位置が補正されたためである.

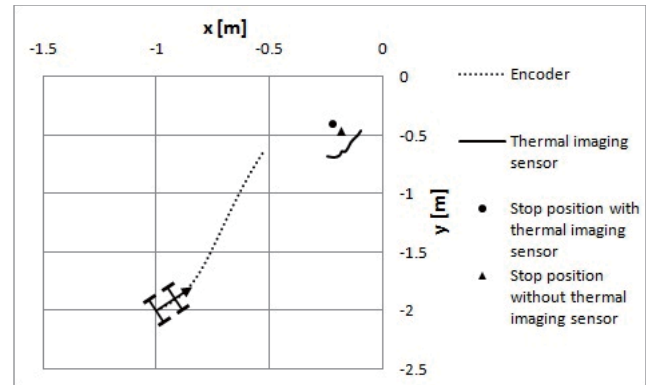


図8 ランドマークが原点にあるときの, 自己位置推定の軌跡と実際の停止位置

5.2 走路途中のランドマークによる位置補正

ランドマークを原点ではなく走路途中に設置し, 走行中に検知したランドマークにより自己位置を補正する実験を行った. すなわち, ランドマークが視野に入っているときのみ, (5)式による補正を行い, それ以外はオドメトリにより自己位置推定を行なう. 自己位置推定値が原点から x, y 座標ともに ± 5 cm 以内になったら車両を停止させた. 制御則内のパラメータと制御周期は先ほどと同じである. 初期状態が $(-2, -2, \pi/2)$ であるときの実験結果を図9に, $(-2, 3, 0)$ のときを図10に示す.

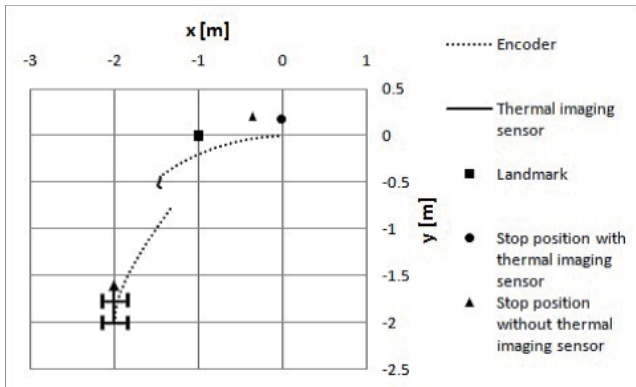


図9 ランドマークが走行途中にあるときの、自己位置推定の軌跡と実際の停止位置
初期状態が $(-2, -2, \pi/2)$ のとき

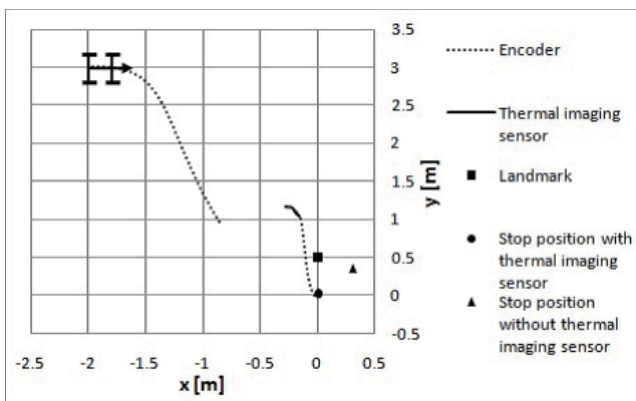


図10 ランドマークが走行途中にあるときの、自己位置推定の軌跡と実際の停止位置
初期状態が $(-2, 3, 0)$ sのとき

軌跡が途切れて離れているところがランドマークを検出して位置補正をしたところである(実線)。ランドマークで補正後、再び点線になっているのがオドメトリによる自己位置推定の軌跡である。実際の停止位置をみても、ランドマークによる位置補正が有効に働き、より原点の近くに停車していることがわかる。

なお本手法では、ランドマークを一つとしたので、車両の姿勢については補正されていない。例えば、複数のランドマークを配置する、ランドマークをどの方向から見ているか特定できるようにする、などの方法により、車両の姿

勢角も推定できるようになれば、目標位置への到達精度はさらに向上すると考えられる。

6 おわりに

経路生成レギュレータによる四輪車両型ロボットのナビゲーションに、熱源ランドマークと熱画像センサを組み合わせ、自己位置推定の精度向上とナビゲーションの性能向上を図った。実験により位置情報の補正および停止位置の誤差の低減を確認した。

今後は、認識しやすい熱源ランドマークの開発、自己位置推定精度の向上に取り組む予定である。

参考文献

- [1] 富沢哲雄, 中島篤, 清水威博, モラレス佐伯洋一, 関口博司, 大矢晃久, “ペルチェ素子を利用した温度ランドマーク”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 講演論文集, 1P1-N-036. 神戸国際展示場, 2005.
- [2] 樽海靖孝, 花島直彦, 高島昭彦, 疋田弘光, 山下光久: 経路生成レギュレータによる4輪車両のフィードバック制御, 第28回日本ロボット学会学術講演会, 日本ロボット学会, RSJ2010AC3Q2-4(1)-(3), 2010