

2 台の 2 軸独立制御カメラを利用した 移動ロボットの軌道制御

7J-3

野崎 隆志 今井 正和 烏野 武

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1 はじめに

室内環境をロボットに航行させるとき、ロボットは様々な場面に遭遇する。例えば、ロボットが、エレベーターに乗り込む場面や入口を通り抜ける場面があげられる。これらの場面の特徴は、いずれも 2本の垂直線の間が空いていてその間をロボットが通り抜けるということである。つまり、2本の垂直線の間をロボットが通り抜けられれば、ロボットが遭遇する様々な場面の1つは解決することになる。

本研究の目的は、室内環境の中に存在する複数の垂直線の中の隣合う2本の間を、ロボットが常にその間の中心に向かって通り抜けるように軌道制御することである。

2 軌道制御

2つの垂直線を2つのカメラでそれぞれ画像中心に捉えながら、2つの垂直線の間を通り抜けるように、ロボットの軌道を制御することを考える。まず、カメラが垂直線を画像中心に捉えたとき、カメラのロボットに対する回転角をそれぞれ θ_L 、 θ_R とすると（図1参照）

$$\cos \theta_L = \frac{\sin \beta (x_A - x_C + \frac{f}{z_C} \cos \beta) + \cos \beta (v_A - v_C - \frac{f}{z_C} \sin \beta)}{\sqrt{(x_A - x_C + \frac{f}{z_C} \cos \beta)^2 + (v_A - v_C - \frac{f}{z_C} \sin \beta)^2}} \quad (1)$$

$$\cos \theta_R = \frac{\sin \beta (x_B - x_C - \frac{f}{z_C} \cos \beta) + \cos \beta (v_B - v_C + \frac{f}{z_C} \sin \beta)}{\sqrt{(x_B - x_C - \frac{f}{z_C} \cos \beta)^2 + (v_B - v_C + \frac{f}{z_C} \sin \beta)^2}} \quad (2)$$

となる。ただしワールド座標系での2つの垂直線A、Bの位置およびカメラの回転角 θ_L 、 θ_R が既知とする。式(1)、(2)において、ロボットの位置(C)とその回転角 β が未知である。

ここで、Cが β のどちらか一方がわかっても式(1)、(2)をみれば明らかにもう一方の解が一つに定ま

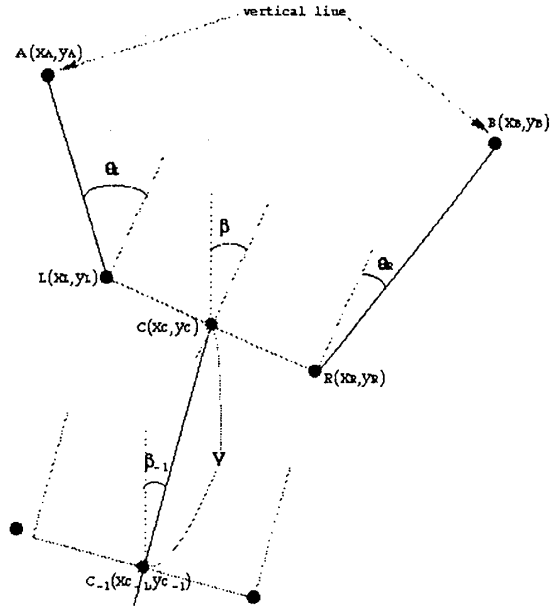


図1: ロボットと2本の垂直線の位置関係
らない。そこで、ロボットの一つ前の状態の位置(C_{-1})と回転角 β_{-1} 、 C_{-1} とCの間の距離Vを用いると（図1参照）、ワールド座標系でのCの位置 $C=(x_C, y_C)$ は、

$$x_C = x_{C-1} + V \sin \beta_{-1} \quad (3)$$

$$y_C = y_{C-1} + V \cos \beta_{-1} \quad (4)$$

となり、ロボットの現在位置(C)と回転角 β は、一つ前の状態に束縛されて一意に求まる。つまり、過去の履歴を用いる動的システムとして、このロボットの軌道制御を行なうことができる。

次に、2つの垂直線A、Bの間を通り抜けるようにロボットを制御することを考える。これは、ロボットの速度を制御することで行なえる。ここでは、ロボットの速さを一定とするか、またはロボットを一定間隔ごとに動かして、図1における β を制御する。このとき β を、単にカメラの回転角 θ_L 、 θ_R が等しくなるように調整すれば、2つの垂直線A、Bの真中に向かって通り抜けるように軌道制御できる。

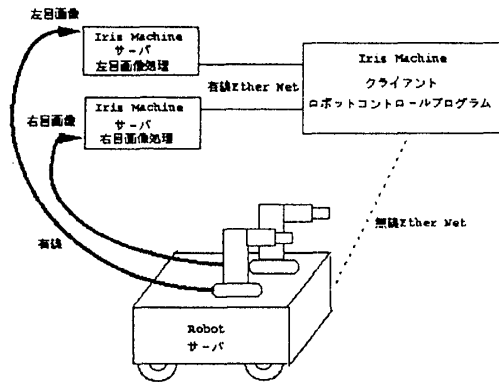


図2: 実験システム

3 実験

3.1 実験環境

まず、実験システムについて述べる。それぞれ2軸（pan 方向 $\pm 200^\circ$ 、tilt 方向 $+90^\circ \sim -70^\circ$ ）が独立に制御できる2台のCCDカメラが、台車に載せられている。2台のカメラからは、有線で画像を入力し、台車とカメラの軸制御は、無線イーサネットで行なう。2台のカメラからの画像は2台のワークステーションで処理し、垂直線の画像内での位置を求める。この結果を用いて、台車とカメラの軸をもう一台のワークステーションで制御する（図2参照）。次に、実験の設定を述べる。2本の垂直線の位置は予めわかっているものとして考える。また、床面は水平であるとし、垂直線は十分長いとする。このことから、図1のように、それぞれの画像の中心を含み、床面に平行な面のみを考える。

制御手順は、

1. 画像中心に垂直線がくるようにそれぞれのカメラを動かす。
2. カメラの回転角が等しくなるように、ロボットの回転角を調整する。
3. ロボットを一定距離動かす。
4. 1にもどる。

3.2 シミュレーション

2節と3.1節で述べた式と手順でシミュレーションを行なった。

図3にシミュレーションの1例を示す。このシミュレーションでは、1pixel=1cmとして、横6.4m、縦4.8m

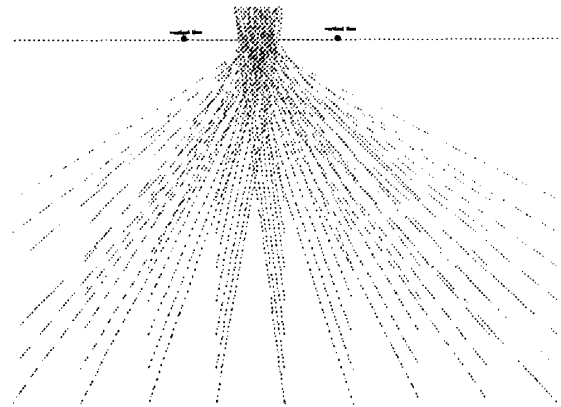


図3: $V=50\text{cm}$ 、 $V_{\text{error}}=5\pm 2\text{cm}$ 、 $\beta_{\text{error}}=3^\circ$ (640x480pixel) のフィールド上で2台のカメラの距離 $E=70\text{cm}$ 、 A 、 B 間の距離が180cmと設定した。また、誤差が $|\theta_L - \theta_R| \leq 0.5^\circ$ となるような β とし、ロボットが一定距離 $V=50\text{cm}$ 移動した時慣性により $5\pm 2\text{cm}$ (V_{error}) ずれ、ロボットの回転 β の際に 3° (β_{error}) ずれると仮定した。このフィールド上で図3と同じ設定で誤差を変えたのシミュレーションの場合、 $V_{\text{error}}=0$ としたとき、 $\beta_{\text{error}}=7^\circ$ までは通り抜け、 $\beta_{\text{error}}=0$ としたとき、特に V_{error} による影響はなく通り抜けた。また、両方の誤差があるときは、 β_{error} が大きくなるほど V_{error} は小さくしなければならず、 $\beta_{\text{error}}=7^\circ$ のときは、 $V_{\text{error}}=5\text{cm}$ までであった。

シミュレーションからロボットが2本の垂直線の間を通り抜けるかどうかは、2本の垂直線の位置とロボットの出発点の位置による。また、 V_{error} による誤差は出発点が2本の垂直線から離れるほど影響する。垂直線の位置を固定したとき、2本の垂直線の間を通り抜けられるロボットの出発点の位置の範囲は、式(3)(4)から非線形に求まる。この範囲ではロボットは、2本の垂直線間の中線から離れていく方向に進路をとる。

4 むすび

本論文では、過去の履歴を用い、また2台のカメラの回転角を等しくなるようにロボットの回転角を決めることで、ロボットの位置が求められ、2本の垂直線の間を通り抜けることができることを示した。

今後は、実際にロボットを用いて実験を行ない、制御方法の有効性を確認する予定である。