

二輪車の自律走行のための視覚系

2P-7

興梠 正克 水野 裕識 村岡 洋一

早稲田大学 理工学研究科

1. はじめに

本研究では、二輪車の自律走行を目標とする。その第一段階として、ここでは二輪車の旋回運動について論じる。倒れずに目標の半径で旋回運動させるには、図1に示す座標系で yaw 軸、roll 軸周りの回転運動 ($\omega_{yaw}, \omega_{roll}$) の復元が必要である。

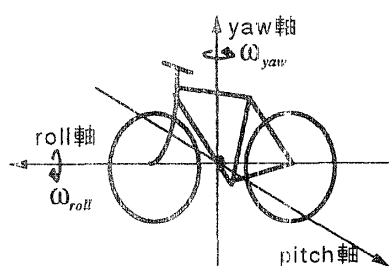


図1: 二輪車の座標系

本論文では、走行している二輪車から得られる連続画像からオプティカルフローを計算することにより、これら二つの回転運動の復元を試みる。ここでは、画像中の対象は十分遠くにあり、並進運動による影響は無視できる状況を仮定する。

制御の対象とする二輪車は、直進速度 v と左右への重心移動量 c の二つの制御指令によって制御される。この (v, c) によって、二輪車の回転運動成分は一定の誤差範囲内で予測可能であるとする。

カメラの運動が変化すると、それによって引き起こされるフローは変化する。しかし、運動の変化が一定範囲内であれば、画像中にはフローの方向が変化しない領域が存在する。運動の予測値の誤差範囲内で、フローの方向が変化しない領域が存在すれば、その領域のフローの方向は理論的に一意に定まる。フローの方向が分かっている時には、そのフローを小さな計算コストで正確に算出することができる ([1])。

本論文では、運動予測の誤差範囲内でフロー方向の変化しない領域を見つけて、その領域においてフロー計算を行ない、運動予測よりも正確な運動復元を得る手法を提案する。本手法の有効性を検証するために、CG によって合成した連続画像に対して本手法を適用した。その結果として、5%以内の誤差で運動復元できることが確認できた。

2. 二輪車の自律走行

本論文では、直進している二輪車を与えた回転半径で旋回させ、一定時間後に直進移動に復帰させることを目標とする。ここで制御の対象とする二輪車は、直進速度 v と重心移動量 c の二つの制御指令によって制御されるものとする。

2.1 二輪車の旋回運動

二輪車の旋回は図2に示す3つのフェーズからなる。最初のフェーズでは、車体の倒れ込み (roll 軸周りの回転運動) が行なわれる。このフェーズでは転倒を防ぐため roll 軸周りの回転運動の復元が必要である。次のフェーズでは、車体を傾斜させた状態で旋回する。実際の旋回半径 R を決定するためには、yaw 軸周りの回転運動が必要である。最後のフェーズでは、車体の傾斜を元に戻すために、roll 軸周りの回転運動の復元が必要となる。

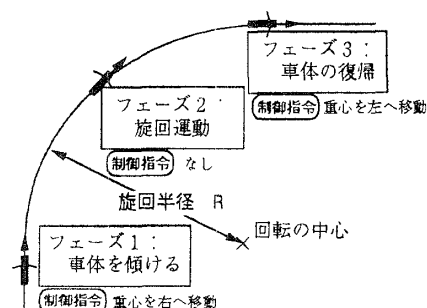


図2: 二輪車の旋回運動

2.2 二輪車の運動特性

二輪車の運動は、それに与えた制御指令 (v, c) から予測することができる。例えば、大きな重心移動量 c を二輪車に与えれば、倒れ込み (roll 軸周りの回転運動) が大きくなる。また、大きな重心移動量を与えられて開始された旋回運動では、その回転半径は小さくなるため yaw 軸周りの回転運動が大きくなる。

なお、平坦なコース上を走行する場合、pitch 軸周りの回転運動は発生しないので、ここでは考慮しない。

3. 運動予測に基づくフロー計算

3.1 運動プロファイル

二輪車に与える制御指令 $(v, c)_i$ から、その二輪車がとる回転運動 $(\omega_{yaw}, \omega_{roll})_i$ の予測値 $(\hat{\omega}_{yaw}, \hat{\omega}_{roll})_i$ を一定の誤差範囲で得ることができる。この誤差範囲の幅

を $(W_{yaw}, W_{roll})_i$ とするとき、以下の対応表を作成することができる。

$$(v, c)_i \rightarrow (\hat{\omega}_{yaw}, \hat{\omega}_{roll}, W_{yaw}, W_{roll})_i$$

この対応表を運動プロファイルと定義する。

3.2 フロー方向が既知となる領域

カメラの運動が変化すると、発生するフローもまた変化する。しかし、運動の変化が一定の範囲内であれば、フローの方向が変化しない領域が存在する。

運動プロファイルによって与えられる運動予測値とその誤差範囲(すなわち変動範囲)から、フローの方向が変化しない領域を見つけることを考える。

画像中の対象までの距離が十分大きく、並進運動の影響が無視できるとき、画像中の位置 (x, y) におけるフロー (u, v) の方向 $\tan^{-1}(u/v)$ は、yaw 軸、roll 軸の回転運動成分 (a, b) の関数 f によって表せる。

$$\tan^{-1}(u/v) = f(a, b, x, y) \quad (1)$$

θ をしきい値とすれば、

$$W_{yaw} \cdot \left| \frac{\partial f}{\partial a} \right|_{\substack{a=\hat{\omega}_{yaw} \\ b=\hat{\omega}_{roll}}} < \theta_{yaw}$$

$$W_{roll} \cdot \left| \frac{\partial f}{\partial b} \right|_{\substack{a=\hat{\omega}_{yaw} \\ b=\hat{\omega}_{roll}}} < \theta_{roll}$$

を満たす領域 (x, y) として見つけることができる。この領域でのフロー方向は、 $f(\hat{\omega}_{yaw}, \hat{\omega}_{roll}, x, y)$ に等しく既知となる。この領域では、フローを正確に小さな計算コストで算出することが可能となる ([1])。

4. 実験とその結果

実物の二輪車がとる回転運動の正確な測定値を得られなかったので、CG によって合成した連続画像に対して本手法を適用することで、その有効性を検証した。

4.1 実験条件

連続画像の合成におけるカメラの運動、その予測値と誤差範囲の幅を以下の表に示す。(単位はすべて [deg/sec])

ω_{yaw}	ω_{roll}	$\hat{\omega}_{yaw}$	$\hat{\omega}_{roll}$	W_{yaw}	W_{roll}
-10.0	6.0	-8.5	8.5	15.0	10.0

また、しきい値は $\theta_{yaw} = \theta_{roll} = 10^{-3}$ とした。このプロファイルにおいて、フローの方向が変化しない領域を図3に示した。

4.2 実験の結果

運動復元の結果を図4に示す。理論値は破線で、復元結果は実線で示してある。

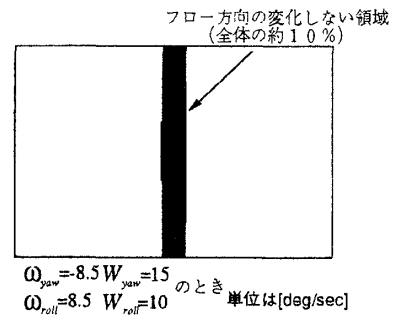


図3: フロー方向が変化しない領域

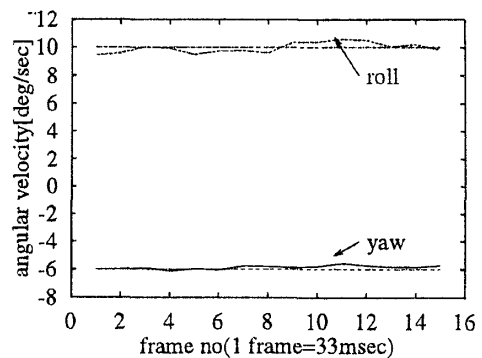


図4: 実験結果

結果として、5%以内の誤差で運動を復元することができた。計算コストに関しては、PC(Linux/Pentium-75Mhz)を使って1フレームを15-20msecで処理することができた。

4.3 実験結果の考察

yaw 軸周りと roll 軸周りの回転運動がそれぞれ高い精度で復元できているので、二輪車の自律走行のために利用できると考えられる。また計算コストに関しても、実時間処理が可能なほど小さいことが確認できた。

運動の変動幅を 15[deg/s] だけ取っても、フロー方向の変化しない領域が全体の約 10% 存在することから、ロバストな運動復元ができていると考えられる。

5. 結論と今後の課題

運動プロファイルによりフロー方向の変化しない領域を見つけ、その領域内でフローを求める手法について述べた。これにより、小さな計算コストで正確にフローを算出することができた。

今後はステレオビジョンを導入することで、並進運動の影響も考慮に入れるように、本手法を拡張する予定である。

参考文献

[1] 興梠他: オプティカルフローによる姿勢検出, 情報処理学会第53回全国大会(1996,9)