

視覚フィードバックによる二輪車の自律走行の実現

3K-1

興梠 正克 村岡 洋一

早稲田大学 理工学部

1. はじめに

本研究では、自由度が大きく動きの不安定な対象である二輪車(自転車型)ロボットを視覚センサーによって自律走行させることを目標とする。二輪車の自律走行には、以下の課題を実時間で解決する必要がある。

1. 自己運動の復元

2. 近接する障害物の検出

オプティカルフローは、理論的にはこれらの課題を解決する上で必要な情報を提供するが、(a) 高い計算コストが必要であることと、(b) 計算されたオプティカルフローの信頼性が不安定であるという問題点があった。

多くの従来研究(eg.[1],[2])では、(a)についてはブロック相関法を専用ハードウェアで実装して実時間性を保証し、(b)については計算されたオプティカルフローを信頼度関数で選別することで解決してきた。しかしながら、この方法では利用する専用ハードウェアによって計算できるオプティカルフローが制限される。また環境の変化に動的に対応できず、柔軟性に欠ける。

本研究では、オプティカルフローを成分ごとに計算することを考える。回転運動による成分は自己運動の復元に、並進運動による成分は近接する障害物の検出に利用できる。回転運動、並進運動による成分はそのベクトルの方向が既知なので、これらの成分を計算量が小さく良設定な一次元オプティカルフロー計算により算出することを試みる。これにより、専用のハードウェアを用いることなく実時間計算を実現する。そして、一次元オプティカルフロー計算が有効となる画像領域を選別することで、算出されるオプティカルフローの信頼性を確保する。

本手法による自己運動の復元と障害物検出を視覚フィードバックとして、自作した二輪車ロボットの自律走行に適用した。二輪車の走行実験により、転倒する状態からの自律的な復帰が実現できることを確認した。

2. 自己運動の復元と障害物検出

2.1 成分ごとのオプティカルフロー計算

移動カメラからの動画像に現れるオプティカルフローは、カメラの回転運動、並進運動および独立した移動

物体による運動が引き起こすそれぞれのオプティカルフロー成分の総和と見なせる。

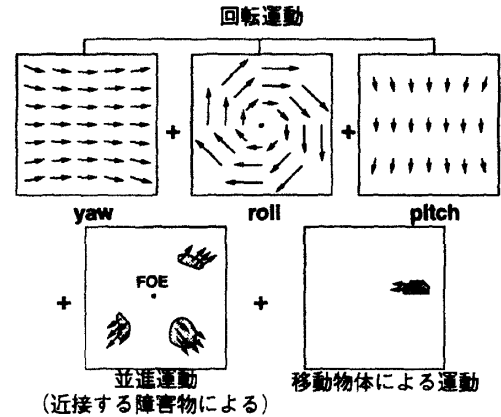


図1: オプティカルフローの成分

従来研究では、各成分の総和であるオプティカルフローを最初に算出した後に、各成分に分解して必要な情報を抽出していた。このため、オプティカルフローの計算に加えて、その信頼性の評価、各成分への分解などの計算が必要であった。

本研究では、オプティカルフローを総和の算出を経ずに、成分ごとに個別に計算することを考える。回転運動と並進運動(二輪車においては直進運動)による成分はその方向が既知なので、計算量のはるかに小さい一次元オプティカルフロー計算によって算出できる可能性がある。

2.2 一次元オプティカルフロー計算

特定の方向に沿ってその一次元オプティカルフローを算出することは良設定問題であり、小さな計算コストで実現できる。

しかしながら、算出された一次元オプティカルフローとその方向へのオプティカルフローの成分は必ずしも一致しない。それらが一致するには以下の二つの条件のうちいずれかが満たされなければならない。(図2)

1. 着目する方向に直交する画像勾配が0である。
2. 着目する方向に直交するオプティカルフローの成分が0である。

条件1. を満たす画像要素の一つがエッジである。

2.3 エッジ上での一次元オプティカルフロー

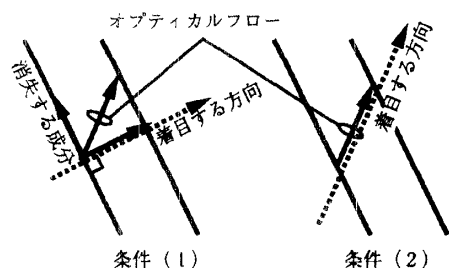


図2: 一次元オプティカルフロー計算が有効となる条件

エッジ上のオプティカルフローは、そのエッジに直交する方向への成分だけが現れ、そのエッジに平行な方向への成分は埋もれて現れない。言い替えると、エッジはその方向へのオプティカルフローの成分を消失させる。この性質は、オプティカルフローを算出する上でのアパーチャ問題の一形態であるが、特定の方向のオプティカルフロー成分を求める目的には都合が良い。

本手法ではこの性質を逆に利用して、一次元オプティカルフロー計算により、エッジ上の画素で直交方向へのオプティカルフロー成分を算出する。

2.4 回転運動の復元

図1が示すように、オプティカルフローの水平方向の成分は yaw 軸周りの回転運動と roll 軸周りの回転運動の一部の成分の和から、垂直成分は pitch 軸周りの回転運動と roll 軸周りの回転運動の一部の成分の和から成る。オプティカルフローの垂直・水平成分を算出するのに適した画素を画像中から探して、その画素上で一次元オプティカルフロー計算を行なう。そこで得られた垂直・水平成分から回転運動を復元する。

この最初の復元結果を使って、その回転運動が作り出すオプティカルフローの垂直・水平成分を計算する。そして、次にオプティカルフローの垂直・水平成分を算出する際には、それぞれに直交する成分をあらかじめ取り除くことで、前述の条件2.を満足させることができる。これによって、エッジ以外の場所であっても一次元オプティカルフロー計算により、求める成分を算出できる。この計算過程を反復することで、回転運動の復元結果を向上させることが可能となる。

2.5 近接する障害物の検出

回転運動によるオプティカルフローの成分を取り除くと、残るのは並進運動と独立した移動物体によるオプティカルフローの成分である。二輪車の並進運動は、その機構上から直進成分しか持たない。したがって、その並進運動によるオプティカルフローの成分は直進運動が作る FOE を中心とした広がりを持つ。この方向に沿った一次元オプティカルフローを算出することで、並進運動による成分を算出できる。この成分

の大きさは、対象までの距離に反比例するので、これにより近接する障害物を検出することができる。

3. 二輪車の走行実験とその結果

3.1 本手法の実装と計算コスト

2章で述べた手法を PC(Pentium-75Mhz, OS:Linux) 上に実装した。本手法による動画処理の平均的な計算コストは、回転運動の復元に 15 ミリ秒、障害物の検出に 20 ミリ秒であり、おおむね 30fps を達成することができた。また、カメラの運動および障害物の位置が既知である合成画像に対して本手法を適用して、良好な結果をすでに得ている [3]。

3.2 二輪車の走行実験

ここでは、製作した二輪車ロボットに対して本手法による視覚フィードバックを、転倒しそうな状態からの復帰させる行動に適用した実験を行なった。この実験では、二輪車の片側にバランスを損ない転倒させるように重りを載せて、二輪車を走行させる。本手法による視覚フィードバックを適用した場合、しなかった場合の軌跡を図3に示した。

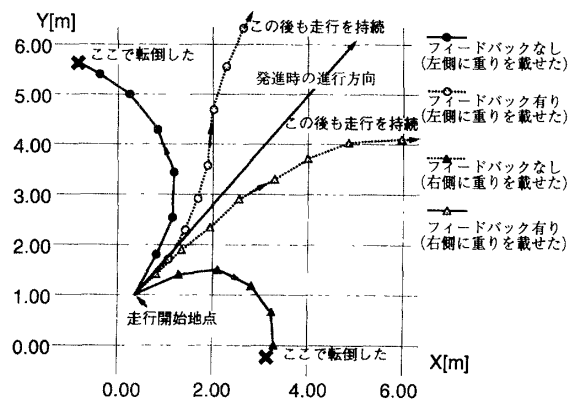


図3: 実験結果

4. まとめ

本稿では、オプティカルフローを各成分ごとに分解して計算することで、運動復元と障害物検出を実現する手法について述べた。本手法の有効性を実際の二輪車ロボットを使った実験で検証した。

参考文献

- [1] 二宮他:オプティカルフローによる移動物体の検知, 信学技報, PRMU97-28(1997,5), pp.25-32.
- [2] 吉田他:動画の動きベクトルに対する信頼度関数とその応用 信学論, J80-D-II,5(1997,5), pp.1192-1201.
- [3] 興侶他:一次元フロー計算による運動復元と障害物検出, 情処研報, CVIM105-1(1997,5),pp.1-8.