

ビジュアルフィードバックによるロボットの制御

芝浦工業大学 ○福岡 慶祐, 芝浦工業大学 村上 博行, 芝浦工業大学 内村 裕

Control of Robot by Visual Feedback

Shibaura Institute of Technology ○Keisuke Fukuoka, Hiroyuki Murakami, Yutaka Uchimura

In the future, with the progress of robotics, a robot will have a close relationship with daily lives of human. Then, the posture stabilization of robot needs to prevent a robot from falling. It has been carried out mainly by force and acceleration sensor. However a human controls one's posture stably not only with sole reactive force but also with visual information. So it is effective to apply visual information to the posture stability of robot.

Rotation Invariant Phase Only Correlation (RIPOC) method enables to measure the rotation angle between two images. The RIPOC method has the high measure accuracy to 2D image, for example, a fingerprint and face recognition. But the RIPOC method confronts difficulty measuring the exact rotation angle in 3D space. This paper describes a new 3D-RIPOC method which enables to measure the rotation angle exactly in 3D space. Applying visual feedback with the proposed method, the posture stabilization of robot is realized and the paper shows experimental results.

1. 研究の目的・意義

ロボットは今後人間の生活に身近なものとなることが予想され、人型ロボットの転倒を抑制する姿勢制御は重要な課題となる。これまで人型ロボットの姿勢制御は、力センサにより計測した足裏の反力を利用した制御方法などが主であった。しかし、人間の場合、足裏からの反力のみを利用して姿勢を制御しているとは考えにくい。例えば、人が片足を上げてバランスをとる場合、目を閉じた場合と、目を開けた場合では、後者の方が安定する。こうした人の“体の直立維持”や“歩く”などの動作に必要な姿勢の安定化において、視覚の寄与は大きい¹⁾。したがって、視覚によって姿勢安定化のための情報を取得し、人型ロボットの姿勢安定化に適用することは有効である。

視覚情報を利用してロボットが姿勢を安定に保つために、安定な姿勢の基準となる画像（基準画像）と、基準画像に対しカメラと環境間の方向や位置が変化した画像（入力画像）間の移動量を計測する必要がある。画像間の回転量と拡大縮小量を計測する手法として回転不変位相限定相関法（Rotation Invariant Phase Only Correlation, RIPOC）²⁾が提案されている。RIPOCによる計測は、画像を2次元高速フーリエ変換（2D FFT）して得られる振幅スペクトルを利用して行う。振幅スペクトルには、画像が回転すると振幅スペクトルも回転するという特徴がある³⁾。RIPOCは、画像の周波数成分を利用した手法であるため、画像の輝度の変化等の外乱光の影響を受けにくい。また、画像全体をマクロに処理することで、特徴を抽出しにくい画像に対しても計測を可能としている。

本研究では、倒立振子の先端に装着したカメラから取得した画像に、RIPOCを応用した新しい画像処理法を適用したビジュアルフィードバックによる倒立振子の姿勢安定化を目指す。

2. 研究の方法

2.1 提案手法

これまでRIPOCは指紋認証、部品の位置決めなど奥行き方向に変化の少ない、2次元的な対象への利用が主であった。

しかし、明らかな奥行きのある3次元空間においては、視点移動による画像の変化が与える影響により、2次元では起こりえなかった問題が発生するため、RIPOCによる計測は困難となる。3次元空間では、ある視点で撮影した基準画像と、別の視点から撮影した入力画像と比較すると、視点が移動することで物体の今まで見えていなかった側面が見えたり、物体が隠れたり、陰になっていた物体が現れる現象（以降、見え隠れと呼ぶ）が起こり得る。見え隠れは、3次元空間で視点の移動量が大きいほど顕著になり、それに伴い回転量の計測が困難になる。

3次元空間にある視点から撮影した画像と、別の視点から撮影した画像の振幅スペクトル Fig.1(a), (b)について考える。このとき、見え隠れの影響により、振幅スペクトルは計測に悪影響を及ぼす変化を起こしている。ここで、振幅スペクトルの形に着目すると、十字形をしており、視点移動後も十字形を維持していることがわかる。このことから、振幅スペクトルの十字成分は見え隠れの影響を受けにくいと考えられる。この振幅スペクトルの十字成分のみを抽出しRIPOCに適用することで、3次元空間においても回転量の計測が可能となる。

本研究では、見え隠れの影響を受けにくい振幅スペクトルを利用したRIPOCによる回転量の計測手法「3次元RIPOC」を提案する。

2.2 提案手法の実装

カメラで取得した基準画像 $f(x, y)$ (Fig.2(a)) および回転後の入力画像 $g(x, y)$ の画像間の回転量を3次元RIPOCにより計測する手順を説明する。ここで、画像サイズが $M \times M$ である場合、 $x=1,2,\dots,M$, $y=1,2,\dots,M$ である。

基準画像 $f(x, y)$ および入力画像 $g(x, y)$ に対して2D FFTし振幅スペクトル $|F(m, n)|$, $|G(m, n)|$ を得る (Fig.2(b))。ただし、 $m=1,2,\dots,M$, $n=1,2,\dots,M$ である。

振幅スペクトル画像 $|F(m, n)|$, $|G(m, n)|$ についてLog-Polar変換を行い、極座標化振幅スペクトル $LPF(\rho, \theta)$ (Fig.2(c)), $LPG(\rho, \theta)$ を得る。ここで、 ρ は拡大縮小量、 θ は回転量を示し、 $(\rho, \theta) = (\log[(m^2+n^2)^{1/2}], \tan^{-1}[m/n])$ である。

振幅スペクトルに現れていた十字の成分は、 $LPF(\rho, \theta)$, $LPG(\rho, \theta)$ では、 ρ 方向に延びる4つの白い谷間として現れる。提案手法では、この成分のみをRIPOCに適用し、回転量計測を可能にする。そこで $LPF(\rho, \theta)$, $LPG(\rho, \theta)$ 中の ρ 方向に延びる4つの谷間のみを抽出した新しい極座標化振幅スペクトルを作成する。これを線振幅スペクトル $|LineF(\rho, \theta)|$ (Fig.2(d)), $|LineG(\rho, \theta)|$ と呼ぶ。RIPOCと同様に、 $|LineF(\rho, \theta)|$, $|LineG(\rho, \theta)|$ から相関関数 $r(\rho, \theta)$ を求め、相関のピークの値と

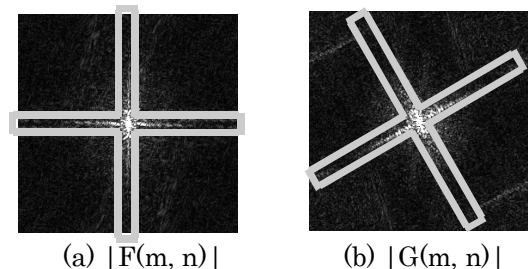


Fig.1 amplitude spectrum

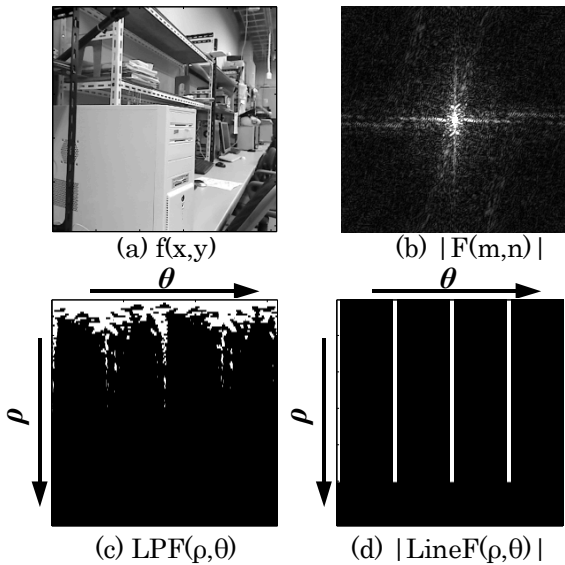


Fig.2 Proposed method



Fig.3 The change in vision of image

Table 1 The result of measurement

	Conventional method	Proposed method
Input [deg]	Measurements [deg]	Measurements [deg]
10	10.7	9.8
20	21.2	18.9
30	83.4	30.4
40	25.3	40.1

位置から画像間の回転量を計測することができる。ただし、線振幅スペクトルが $\theta = \pm 90[\text{deg}]$, $\pm 180[\text{deg}]$ で同じ形となるため、提案手法では回転量の測定範囲は $-45 \sim 45[\text{deg}]$ とする。同測定範囲内において、従来手法に比べ正確な回転量計測が可能となる。

3. 研究の結果とその意味

3. 1 計測精度の検証方法および結果

提案手法の有効性を検証するため、カメラで撮影した実画像を PC に取り込み、PC 上で回転量計測を行った。回転中心は、カメラの画像軸中心から 350[mm] 離れた位置におき、画像は 256×256 サイズのグレースケールに変換して計算を行った。基準画像を直立状態(回転量 0[deg])の画像とし、任意の回転量(反時計回りを正)を与えた際に撮影した画像を入力画像とした。Fig.3 は、検証時の基準画像および回転量 40 度の際の入力画像である。本検証画像における従来手法と提案手法の回転量計測結果を Table 1 に示す。

Table 1 に示すように、従来手法では、回転量が 30[deg], 40[deg] の場合に正確な回転量の計測ができていない。一方、提案手法では、30[deg], 40[deg] においても、1.1[deg] 以下の誤差で回転角度を推定できた。これは、提案手法では振幅スペクトルを線振幅スペクトルに変換することで、見え隠れによる影響を抑制できたためであり、提案手法の有効性が示された。

3. 2 実験方法および結果

前節の検証結果を踏まえ、提案手法を基に構築したビジュア

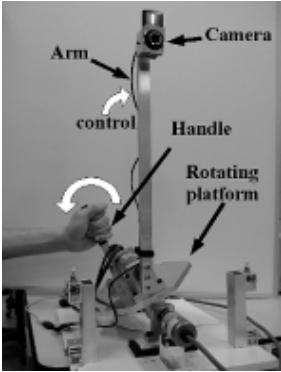


Fig.4 Inverted pendulum



Fig.5 Reference image

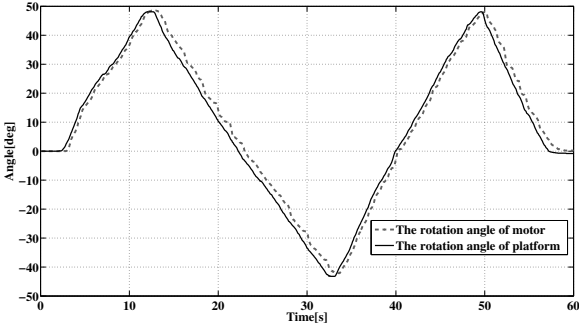


Fig.6 The rotation angle of platform and motor

ルフィードバックによって倒立振子の安定化を実現する実験を行った。Fig.4 に実験装置の全体像を示す。実験装置は、回転台 (rotation platform) に搭載したモータの軸にアーム下端を連結し、アーム先端にカメラを取り付けた構造となっている。同回転台はハンドルにより任意の傾きに動かすことができる。

実験の流れは以下の通りである。

- (1) 水平状態とした回転台に対してアームを直立にし、Fig.5 に示す回転量計測の基準となる基準画像をカメラから取得。
- (2) ハンドルを回すことで、アームに外乱を与える。
- (3) 回転台の回転後、カメラから入力画像を取得。
- (4) 提案手法による回転量計測を行う。
- (5) 計測された回転量を制御量としてモータに指令するビジュアルフィードバック制御を行う。

回転台に連続的に与えた揺動に対し、手順(2)～(5)のサイクルを繰り返し行う。揺動の大きさ (回転台の傾き) によらず、アームが直立状態を安定に保つか検証した。

Fig.6 は実験結果であり、揺動による回転台の水平状態からの回転角度と、モータの累積回転角度の反転値を示した。また、1 サイクル当たりの処理時間は約 0.08[sec] であった。Fig.6 は、回転台の連続的な回転に対して、モータはアームが直立を保つように回転していることを示しており、与えた揺動の大きさによらず、アームが直立状態を保ったことがわかる。

よって、提案手法を基に構築したビジュアルフィードバックにより、外乱を受けたアームは直立状態を保つことが示された。

参考文献

- 1) 日本視覚学会 (編): 視覚情報処理ハンドブック, pp. 507-510, 朝倉書店(2000)
- 2) 大槻浩之, 青木孝文, 樋口龍雄, 小林孝次: 回転不変位相限定相関法に基づく画像照合手法とその評価(計測自動制御学会東北支部 第 194 回研究集会 June 2001 資料番号 194-7)
- 3) 佐藤孝宗, 草島智道, 伊藤稔: 「簡易・高精度な画像間微小回転角度検出手法」, 精密工学会誌, Vol.73, No.6, pp. 677-681(2007)