

スライディングモード制御を用いた 回転型倒立振子の振り上げ安定化制御

生産システム工学専攻 加賀 達也

1. 緒言

現在、宇宙ロボット等の人間が介入できないシステムに対して、劣駆動システムの応用が期待されている。劣駆動システムとは、動作関節の数よりもアクチュエータの数が少ないシステムであり、軽量化やコストダウン、省エネ化といった多くの利点がある一方で、強い非線形性を有する、制御が極めて難しいシステムである。

本研究では、Fig. 1 に示すような、劣駆動システムの一例である回転型倒立振子を用い、回転型倒立振子の振り上げ安定化制御について検討した。過去の研究において、最適レギュレータに基づく LQG 制御を安定化制御に適用したが、制御器の重み関数の選定、パラメータ誤差、モデル化誤差、実験環境といったシステムの不確定要素への対応が難しく、実際に振り上げ安定化制御を達成することができなかった。そこで、本研究では、システムの不確かさに対して優れたロバスト性を有するスライディングモード制御を安定化制御に適用し、スライディングモード制御に基づく制御理論が、スムーズな制御の切り替えに加え、十分な振子の倒立安定化に対して有効であることを、シミュレーションおよび実験によって検証した。

2. 研究方法

劣駆動システムである回転型倒立振子は、一般に強い非線形性を有しているが、アームと振子の角度および角速度が微小である領域においては近似的に線形システムとモデル化できる。そこで、本研究では、Fig. 2 に示すように、制御領域を非線形な領域と近似的な線形領域の二つに分割し、非線形領域（振り上げ制御領域）ではエネルギー法による振り上げ制御を、近似的な線形領域（安定化制御領域）ではスライディングモード制御による安定化制御を行った。

3. 研究結果

本研究では、制御領域を二つに分割し、特に、安定化制御に対してスライディングモード制御を適用し、回転型倒立振子の振り上げ安定化制御を行った。実験結果を Fig. 3 に示す。ここで、振り上げ制御から安定化制御への切り替えは 5.5sec 付近で行なわれている。Fig. 3 に示すように、振子の角度は 0[deg] に、角速度は 0[rad/s] に漸近、拘束されており、振子の振り上げ安定化が達成されていることが分かる。また、安定化制御に切り替わった後も安定な倒立状態が維持されており、スライディングモード制御によって十分に安定な倒立が行われていることが確認できる。

実験結果より、本研究で用いたスライディングモード制御に基づく制御理論は、先行研究で用いた LQG 制御と比較して、制御のスムーズな切り替え、および十分な安定化に有効であることが確認できた。



Fig.1 回転型倒立振子

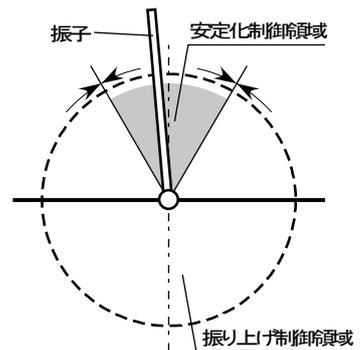
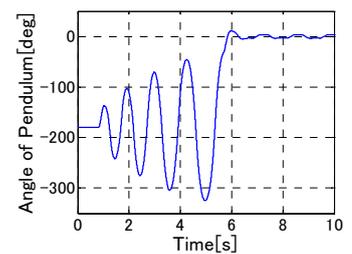
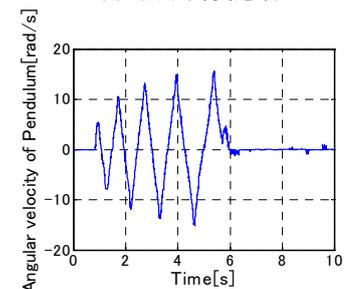


Fig.2 制御領域の分割



(a) 振子角度応答



(b) 振子角速度応答

Fig.3 実験結果