

VSS 適応制御を利用したロバスト性に優れたつま先付きロボット脚の開発

研究者：山田 佑樹 平田 弘志 所属：情報理工学部コンピュータ応用工学科

キーワード 片足型モデル, 倒立振り子, VSS 適応制御, 姿勢制御

研究の概要

VSS 適応制御を用い、ロバスト性に優れた指先部を供えたロボット脚の開発を行う。手始めに、屈伸運動という慣性変化を伴う足運動を行わせ、安定化を目指す。使用する実機は、人間のつま先部から大腿部までの足の形を模したロボット脚を用いる。それをつま先立ち状態という安定域の狭い状態にて屈伸運動をさせ、その制御性能を確認する。その際、実機の重心を通り、屈伸運動により長さや重心が変化する倒立振り子を仮想し制御対象とする。その仮想倒立振り子モデルに対する VSS 適応制御を第 1 関節部分に施し、第 2, 第 3 関節には I-PD 制御にて正弦波指令を入力し、ロボット脚の屈伸運動を実現する。この手法により、逆運動学を使用せずに、ロボット脚の安定化が可能となる。また今後、両足型にすることも想定し、荷重変化に対応できるシステム構築も目指す。

研究成果

1 脚ロボットモデルとその概略

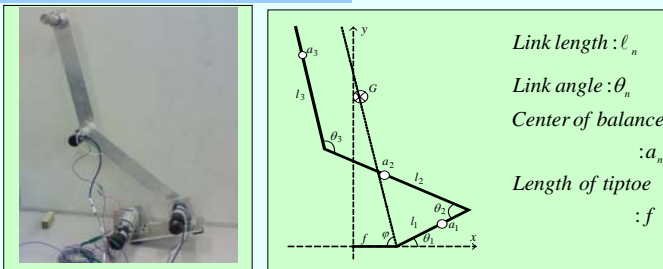


Fig.1 Inverted Pendulum.

運動方程式

$$\text{重心位置} \quad G_x = \frac{\sum m_n a_{nx}}{\sum m_n}, \quad G_y = \frac{\sum m_n a_{ny}}{\sum m_n} \quad (1)$$

$$\text{重心までの長さ} \quad a = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

仮想倒立振り子の運動方程式

$$J\ddot{\theta} + B\dot{\theta} - mag \sin \theta = \tau_r K_{iv} \gamma e$$

$$\therefore J = \frac{1}{12} ml^2 + ma^2 + \gamma^2 J_m, \quad B = B_l + \gamma^2 B_m \quad (3)$$

ただし、 J_m はモータ軸慣性モーメント、 B_l は負荷軸粘性摩擦、 B_m はモータ軸粘性摩擦、 m は仮想振り子の重さ、 l は仮想倒立振り子の長さ、 τ_r はトルク定数、 K_{iv} は増幅器変換定数、 γ はギア比とする。

VSS 型適応制御における安定化制御部の設計

$N = \tau_r K_{iv} \gamma$ とし式(3)を整理すると

$$\alpha_0 \ddot{\theta} + \alpha_1 \dot{\theta} + \alpha_2 \theta = e + w \quad \therefore \alpha^T = [J/N \quad B/N \quad -mga/N] \quad (4)$$

$$s_c = \dot{\theta} + c\theta \quad (5) \quad Y^T \alpha + H s_c = e + w \quad (H = J/N) \quad (6)$$

$$\begin{cases} Y^T = [-c\dot{\theta} & \dot{\theta} & \theta] \\ \alpha^T = [H & B/N & -mga/N] \end{cases} \quad (7)$$

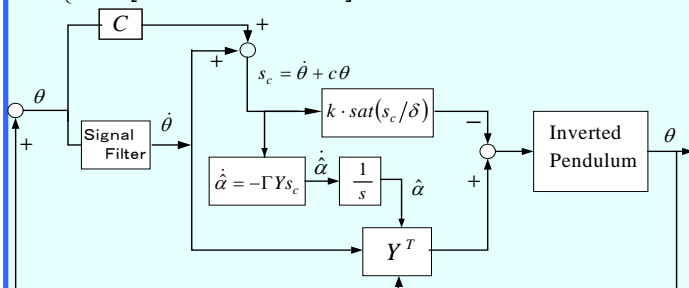


Fig.2 Diagram of VSS adaptive control system

シミュレーション結果

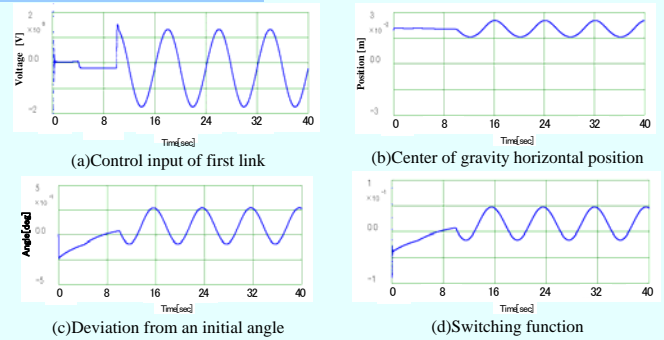


Fig.3 VSS adaptive control simulation with the inertia change

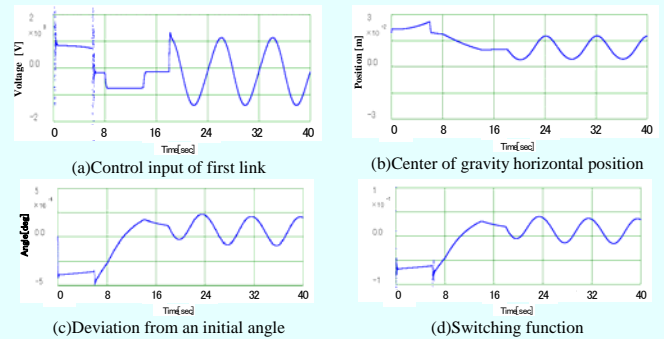


Fig.4 VSS adaptive control simulation with the load change

実験結果

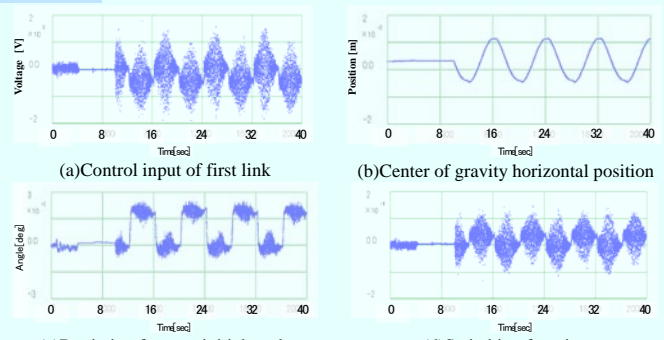


Fig.5 stabilization experiment result

今後の展望

今回のシミュレーション及び実機による実験結果より、VSS 適応制御が、制御対象の慣性パラメータの変動に十分対応できていることが実証できた。今後は、シミュレーションにて良好な結果が得られた荷重変化にも対応できる実システムの実現を目指す。