

[説明資料(提出ファイル)] 発明・工夫作品コンテスト 製作の動機または目的, 利用方法, 作品自体やその製作過程で工夫したことを, 文章, 写真, 図などで説明。この用紙1枚に記入し, PDFに変換した後, web提出フォームにて提出する。

個人・グループ名	石嶺達騎	大学名	静岡大学
作品名	全方向移動型倒立振子教材の開発	人数	1名

目的

- 球体の回転により倒立する玉乗りロボット教材の開発を行う。
- 学習者が瞬時的なフィードバック制御について理解・活用する。
- 車輪型倒立振子では学習することのできなかったベクトルの概念や、安定性を考慮した制御設計の力を養う。



結論

- 玉乗りロボット教材の筐体の製作を行った。制御システムを構築した。
- 3Dモデルやグラフにより学習者が視覚的にフィードバック制御を理解できる表示・ゲイン調整システムを構築した。
- 生徒がフィードバック制御の流れを理解するための制御フロー設定システムを構築した。

研究背景

現在、世の中には多くのフィードバック制御が用いられている。人間が知覚しにくいフィードバック制御

- ドローンの姿勢制御
- カメラのAF

制御が瞬時的であったり、制御量が細かいため知覚しにくい。
⇒瞬時的なフィードバック制御を学ぶことができる教材の必要性

今後の展望

- 玉乗りロボット教材の完成
Q 倒立振子移動時の安定性の向上を図る。
- 工業高校での実践を通して、学習者に瞬時的なフィードバック制御を理解させるために有効な教材であることを検証する。

倒立振子とは

- 支点よりも重心が高い位置にある振り子のこと。
- Segwayなどの車輪型倒立振子ロボットや村田製作所子アリーディング部の全方向移動型倒立振子ロボットなどに応用されている。



開発するロボット

熊谷らが開発した「玉乗りロボット BallIPMini」を参考に3次元CADと3Dプリンタを用いて製作した。

- 制御基板部**
 - 制御用ICとしてPIC32MX220を使用。
 - モータ制御ICとしてPIC12F1822を3つ使用。
- モータ部**
 - 速度・角度制御が容易で、高トルクであるステップモータを使用する。
- 車輪部**
 - 車輪にはオムニホイールを使用。
 - 他の車輪の回転を邪魔せずに回転するため3つの車輪で倒立振子を立たせることが可能。

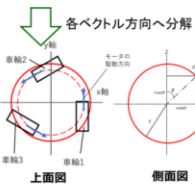
倒立振子の制御式

PID制御でモータ操作量を変化させる。

$$u_x = k_p \varphi_x + \frac{k_d \dot{\varphi}_x}{s} + k_i \varphi_x s$$

$$u_y = k_p \varphi_y + \frac{k_d \dot{\varphi}_y}{s} + k_i \varphi_y s$$

u : モータ操作量
 θ : 角度
 s : 時間
 k_p : 比例ゲイン
 k_i : 積分ゲイン
 k_d : 微分ゲイン
添字x,y: それぞれの軸に対する状態量



各モータの速度制御式

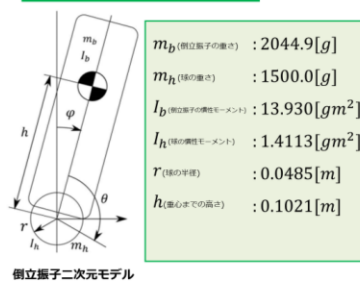
$$v_{s1} = -u_y \cos \theta - r \sin \theta \omega_z$$

$$v_{s2} = \left(+\frac{\sqrt{3}}{2} u_x + \frac{1}{2} u_y \right) \cos \theta - r \sin \theta \omega_z$$

$$v_{s3} = \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} u_x + \frac{1}{2} u_y \right) \cos \theta - r \sin \theta \omega_z$$

$v_{s1} \sim v_{s3}$: モータの回転速度 θ : 天頂角
 ω_z : 鉛直方向の角速度 r : 球の半径

移動計算式



オイラー・ラグランジュ方程式から球の角加速度 $\ddot{\theta}$ を算出する。

$$\ddot{\theta} = \frac{\beta g \sin \varphi + \beta \dot{\varphi}^2 \sin \varphi - (\alpha + \gamma + 2\beta \cos \varphi) \dot{\varphi}}{\alpha + \beta \cos \varphi}$$

ただし $\begin{cases} \alpha = I_h + (m_b + m_h)r^2 \\ \beta = m_b r h \\ \gamma = I_b + m_b h^2 \end{cases}$, 傾き角 φ を設定

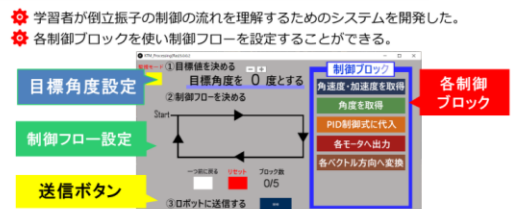
算出した角加速度 $\ddot{\theta}$ を積分し、球の半径を乗じることで速度や移動距離を求めることが可能となる。

熊本 熊谷「玉乗りロボットの傾斜性能向上に関する研究」計測自動制御学会東北支部 第22回研究会資料番号227-8

システムの概要



制御フロー設定システム



シミュレーション

- Unityを用いて倒立振子シミュレーションを開発した。
- 各ゲインを設定することで倒立振子の動きをシミュレーションで確認できる。



表示・ゲイン調整システム

- 3Dモデルにより、車体の実際の動きと計算上の動きを比べることができる。
- 角度や速度のグラフにより、車体のフィードバックを確認できる。

