**A DATA-DRIVEN MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION FRAMEWORK FOR SIX-BAR MECHANISM DESIGN IN NUT FORMING APPLICATIONS**

Draft: 2025/1/17

1. **Introduction（引言）**

Background and Motivation

* 簡述螺帽成型設備在傳統設計中的局限性。
* 說明提升機構運動學與動力學性能的必要性：
  + 傳力角穩定性。
  + 機械利益最大化。
  + 驅動力矩與搖桿特性的平穩性。
* 引出結合運動學與動力學多目標最佳化設計的挑戰。

Research Objectives

* 開發數據驅動的多目標六連桿機構設計方法。
  + 突出創新：結合理論模型與機器學習，實現設計參數與目標性能的高效映射。

1. **Literature Review（文獻回顧）**

Mechanism Design for Nut Forming Applications

* 螺帽成型機構設計的發展現狀及挑戰。
* 四連桿與六連桿機構性能比較。

Performance Optimization in Mechanism Design

* 連桿機構尺寸合成最佳化研究回顧。

Data-Driven and Multi-Objective Optimization Methods

* 數據驅動技術在工程設計中的應用。
* 多目標優化方法（如 NSGA-II）在機構學中的應用。

1. **Theoretical Model（理論模型）**

Kinematics Modeling

* 詳述六連桿機構的運動學模型。
* 計算傳力角、機械利益與加速度變化。

Dynamics Modeling

* 構建動力學模型，分析驅動力矩、搖桿力與搖桿力矩。
* 提供計算公式與推導步驟。

Performance Metrics

* 定義運動學與動力學性能指標：
  + 運動學：傳力角穩定性、機械利益。
  + 動力學：驅動力矩、搖桿力與搖桿力矩的穩定性。
* 闡釋各性能指標的物理意義與目標。

1. **Data Generation & Machine Learning Framework（數據生成與機器學習框架）**

Data Generation

* 利用理論模型生成設計參數與性能數據：
  + 桿長、質量、質心位置等設計參數。
  + 傳力角、機械利益、驅動力矩等性能數據。
* 使用拉丁超立方抽樣方法覆蓋設計空間。

Machine Learning Model

* 選擇機器學習模型（如神經網絡）建立設計參數到性能的映射關係。
* 訓練與測試方法：
  + 分割數據集進行模型訓練。
  + 評估模型的預測準確性。

Performance Prediction

* 利用機器學習模型進行快速性能預測，提升優化效率。

1. **Optimization and Inverse Problem Solving（優化與反向問題求解）**

Optimization Problem Definition

* 定義多目標優化問題：
  + 目標函數：加速度穩定性、傳力角穩定性、機械利益、驅動力矩平穩性、搖桿力平穩性、搖桿力矩平穩性、有效能耗…等。
  + 約束條件：桿件長度範圍、質心位置、慣量…等。

Optimization Algorithm

* 使用遺傳演算法（如 NSGA-II）搜索最佳設計參數。
* 提供優化算法的參數設置與流程。

Inverse Problem Solving

* 以目標性能為約束，反向求解對應的設計參數組合。
* 結合機器學習模型進行快速篩選。

1. **Results and Discussion（結果與討論）**

Optimization Results

* 展示多目標優化結果，包括 Pareto 解集。
* 提供傳力角、機械利益與搖桿性能的可視化圖表。

Performance Evaluation

* 比較不同解的性能表現與權衡關係。
* 討論各目標性能的達成程度。

Sensitivity Analysis

* 分析設計參數變動對性能的影響。
* 探討設計穩健性與可行性。

Comparison with Traditional Methods

* 將六連桿機構優化結果與傳統四連桿設計進行對比。

1. **Conclusion（結論）**

Summary of Contributions

* 提出數據驅動的六連桿機構多目標設計方法。
* 在提升傳力角穩定性、機械利益與搖桿性能方面的貢獻。

Future Work

**References（參考文獻）**