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

Draft: 2025/7/2

1. **Types of 6 Linkage Mechanism**

* Watt chain：為三接頭桿件直接相連接之運動鏈，因其對稱性僅能分成由兩接頭桿（Watt-I）為固定桿以及三接頭桿（Watt-II）為固定桿的形式。

一張含有 螢幕擷取畫面, 圖表, 行, 字型 的圖片

AI 產生的內容可能不正確。

* Stephenson chain：為兩三接頭桿間用一二接頭桿進行連接，可分成三種形式。
  + ternary link

一張含有 字型, 螢幕擷取畫面, 圖表, 行 的圖片

AI 產生的內容可能不正確。

* + multi-joint：將依三接頭桿件簡化成多接頭之形式。

一張含有 寫生, 圓形, 白色, 圖表 的圖片

AI 產生的內容可能不正確。

1. **Parameters of 6 Linkage Mechanism**

* Design parameters
  + Each rod
    - : length ()
    - : length of centroid ()
    - : center of mass ()
    - : moment of inertia ()
    - : angle of centeoid ()
  + Linkage
    - : starting angle of crank ()
    - : Position of fixed joint ()
    - Linkage type
* Others
  + : acceleration of centroid (),
  + : force (),

1. **Given & Obtain**

* Given curve
  + Slider position () v.s. crank angle ()
  + Slider velocity () v.s. crank angle ()
  + Slider acceleration () v.s. crank angle ()
  + Mechanical advantage MA v.s. slider stroke ()
  + Driving torque () v.s. crank angle ()
  + Driving force () v.s. crank angle ()
  + Shaking moment () v.s. crank angle ()
  + Joint force () v.s. crank angle ()
  + Transmission angle ()
  + Linkage type
* Obtain parameters
  + Each rod
    - : length ()
    - : length of centroid ()
    - : center of mass ()
    - : moment of inertia ()
    - : angle of centeoid ()
  + Linkage
    - : starting angle of crank ()
    - : Position of fixed joint ()

1. **Methods**

Boundary Condition

* 保留現有設計之尺寸 與、兩桿件鄰接關係和滑塊全行程200 。
* 針對二接頭桿，質心長度為桿長的0.3 倍長度，且質心方位角為0，寬度 與厚度 皆設定為。
* 針對三接頭桿，桿件形狀為三個接頭中心連線所形成的三角形形狀。
* 桿件寬度與厚度根據金工中心提供之模型參數建立，桿件密度皆為7850。
* 滑塊的質心位置與滑塊上的旋轉樞紐共點。
* 無飛輪設計。
* 負載對滑塊之沖壓作用力，並忽略滑塊摩擦力。

Data Generation

設定一種運動鏈並生成設計變數（四個桿長參數 ），每組桿長對應質量 與轉動慣量 分別依式(1)與式(2)計算：

(1)

(2)

以五度為間隔模擬 的完整機構運動週期，並利用理論模型生成傳力角、機械利益、驅動力矩等特性曲線作為輸入特徵（共576 維），接著更換運動鏈重複以上作業。

完成資料蒐集後將所有輸入特徵與輸出設計參數逐群進行最小–最大正規化，避免特徵尺度不一致造成收斂不穩定，方式如式(3)所示：

(3)

Machine Learning Model

採用多層感知機（Multilayer Perceptron, MLP），輸入層接受 576 維撼動特徵向量，輸出為 4 維設計參數。訓練時使用 80% 資料作為訓練集，20% 為驗證集，損失函數的部分使用均方誤差（MSE）作為判斷依據，並使用 Adam 優化器進行迭代訓練。

1. **Prediction & Validation**

輸入參數：

* n條欲達成之性能曲線
* 指定運動鏈

期望輸出結果：

* 2-5組預估之桿件參數。

驗證方式

將預測結果帶入理論模型中重新計算其性能曲線，並使用 RMSE、最大誤差、曲線相似度等方式進行與輸入之目標曲線之比對。

模型評估

輸入相似曲線以評估模型對輸入曲線微幅變異的魯棒性，以及所推薦設計在物理可行性與製造容許範圍內的穩定性。