

利用粒子群演算法進行核反應爐組件之最佳化切割設計

鍾詔東

國立臺灣大學機械工程學系，臺北市，10617 臺灣

摘要

本研究使用 SolidWorks API (application programming interface)、Visual Studio C#以及 Excel 開發最佳化切割軟體。使用者可自行輸入任意的 3D 模型、切割容器尺寸以及切割刀具厚度。並利用離散化資料以及粒子群演算法找出最佳切割位置。最終使用 SolidWorks API 自動模擬切割結果，並輸出切割零件以及廢料體積資訊。如頂部導板切割模擬使用 6 mm 刀具厚度以及 10 mm 的精準度，模擬花費 35 秒將頂部導板切成 18 個零件以及 2,709,059 mm³的切屑體積。

關鍵詞：最佳化切割、粒子群演算法、SolidWorks API

Abstract

This study used SolidWorks API, Visual Studio C# and Excel to develop an optimal cutting software tool. Users can input any 3D CAD model, cutting container size and cutting tool thickness. Discrete data and particle swarm algorithm were used to find the best cutting locations. Finally, SolidWorks API was used to automatically simulate the cutting results and output cutting parts and waste volume data. For example, a cutting tool with 6 mm in thickness and an accuracy of 10 mm were used in the top guide cutting simulation. The simulation took 35 seconds to cut the top guide into 18 parts, and the final chip volume was 2,709,059 mm³.

Keywords: Optimal cutting plans, particles swarm algorithms, SolidWorks API

1. 研究動機與目的

核能發電廠如今已運作多年對於人類的能源貢獻龐大，但同樣的隨著時間的推移，發電廠中的設備已無法維持原先的發電效率，甚至危害到發電的安全性，故最終仍然須面臨到除役。而本研究的最主要目的為降低工程造成的經濟成本以及環境成本。對於刀具消耗來說切割所產生的廢料越少，可以使單一工程當中所使用的刀具數量越少。對於環境輻射來說若是切割的表面積越少，輻射外露的量會越少。而本研究中切割下的零件會最終會包裝至防輻射容器後運送至核廢料中心，故切割下的零件必須能夠放入容器中。

2. 研究方法

本研究的運作流程分為資料讀取、資料分析、資料處理以及資料輸出四個部分，而軟體的編輯平台為 Visual Studio C#，其中使用 Windows Application 作為人機介面的編輯平台。

資料讀取的部分需要使用者輸入工程需求的參數以及 SolidWorks 3D 工程圖檔。資料分析則需要將工程圖檔轉換為 STL 檔後讀取工程圖的幾何特徵，並建立適當的資料型態為後端的資料處理做準備。資料處理則是藉由大量讀取幾何特徵以及粒子群演算法規畫切割工程。而資料輸出則是將分析的結果輸出至 Excel 並利用 SolidWorks API 模擬切割工程後的結果。

2.1 SolidWorks API

SolidWorks 是一個 3D 的工程繪圖軟體，其具有豐富的功能供使用者繪製工程圖。然而有些工程圖具有許多重複特徵例如切割、鑽孔。故 SolidWorks 有提供一個程式化管道來實踐「自動化」設計，稱為 SolidWorks 二次開發，而其中最主要的管道為

SolidWorks API。

SolidWorks API 是程式語言與 3D 工程圖互動的窗口介面，在使用 SolidWorks 時所使用到的功能皆可以透過 SolidWorks API 控制。

像是 Dun and Chen [1] 利用 SolidWorks 二次開發設計種子栽培盤，利用 Visual Basic 以及 SolidWorks API 連接至 Excel 的 xlsx 檔來達到各種不同的種子栽培盤的設計，並可以直接利用 xlsx 表中的參數改變現有零件的尺寸參數，成功的完成自動化設計。

而 Li, et al. [2] 研究利用 SolidWorks 二次開發模擬自動化焊接工程，利用 Visual Basic、SolidWorks API 以及 ROBOGUIDE 整合焊接機械手臂，只要輸入預計焊接的目標軟體將會自行模擬機械手臂加工路徑，並計算加工成本輸出、加工流程以及加工結果。

2.2 STL

電腦輔助設計系統 (Computer-Aided Design, CAD) 與快速成型技術 (Rapid prototyping, RP) 的資料交換介面格式 STL (STereoLithography)，運作原理為將複雜的工件模型簡化儲存為許多三角形所構成的資料檔，而 M. and Gy [3] 研究關於 STL 檔案以及真實工件的誤差，發現精度越高雖然可以讓 STL 越趨近於真實 3D 工程圖，但同時也會導致許多不連續邊界的位置會有空洞或是重疊的現象產生。而 STL 檔最為廣泛使用的地方為 3D 列印，像是 Eragubi [4] 利用 STL 檔規劃雷射 3D 列印。利用 STL 檔取得加工件的截面型態後，再利用演算法模擬該截面的雷射加工路徑，有效的利用 STL 檔完成自動化雷射加工的規劃。

2.3 粒子群演算法

粒子群最佳化 (Particle Swarm Optimization, PSO)，是由 J. Kennedy 和 R. C. Eberhart 於 1995 年開發的一種演化計算技術，來源於對比群集動物行為模擬的社會行為。演算法開始在限制的範圍中任意的撒下許多粒子，且每一個粒子都有屬於自己的數據，而在每一次的移動前都會將這筆數據與處理的問題做評估，開始移動後這些數據會以向

量的形式向最佳的數據前進，詳細流程如圖 1 所示。

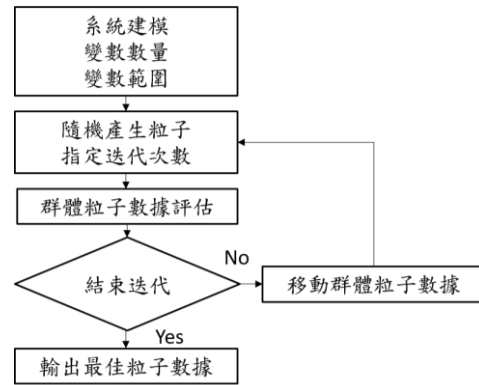


圖 1 粒子群演算法流程

3. 最佳化設計

3.1 切割模型定義

在切割核反應爐組件時除了需要考慮的環境因素有許多，而為了簡化模型必須做一些假設。

- (1) 假設工件當中所有部分材料皆相同
- (2) 假設輻射量僅與切割面積以及廢料有關
- (3) 切割刀具遠小於工件尺寸，故廢料體積約等於切割截面積乘以刀具厚度(如圖 2 所示)

$$V_c \approx A_c \times t \quad \text{if } t \ll 1 \quad (1)$$

$V_c \in$ 切割體積 $A_c \in$ 切割截面積 $t \in$ 刀具厚度

而在本研究的切割方向順序為先以 Y 軸的方向切割，分別切割 X 軸向以及 Z 軸向的切割，故可建立下方切割模型。

$$p = \min \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_x} A(X_i) + \sum_{j=1}^{N_y} A(Y_j)}{\sum_{k=1}^{N_z} A(Z_k)} \right) \times t \quad (2)$$

$$x_{i+1} - x_i \leq \text{Container Length}$$

$$\forall i = 1, 2, \dots, N_x - 1 \quad (3)$$

$$y_{j+1} - y_j \leq \text{Container Length}$$

$$\forall j = 1, 2, \dots, N_y - 1 \quad (4)$$

$$z_{k+1} - z_k \leq \text{Container Length}$$

$$\forall k = 1, 2, \dots, N_z - 1 \quad (5)$$

$p \in$ 目標函數 $t \in$ 切割刀具厚度

$A(a) \in$ a 平面截面積

$X_i \in$ X 軸方向距離原點 x_i 的切割平面

$N_x \in$ X 方向的切割刀數

$Y_i \in$ Y 軸方向距離原點 y_i 的切割平面

$N_y \in Y$ 方向的切割刀數

$Z_i \in X$ 軸方向距離原點 z_i 的切割平面

$N_z \in Z$ 方向的切割刀數

3.2 截面積計算

本研究使用 STL 工程圖檔計算截面積原因為使用 SolidWorks 內建的截面讀取耗費的時間過多，故以較簡化的工程圖檔作為截面積算可以增加後端演算法的計算速度。

- (1) 取得通過截面的三角形
- (2) 截取三角形上與平面相交線段(如圖 2 所示)
- (3) 配合法向量計算總截面積(如圖 3 所示)

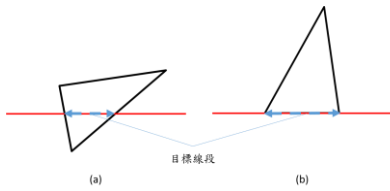


圖 2 截取三角形與平面相交線段

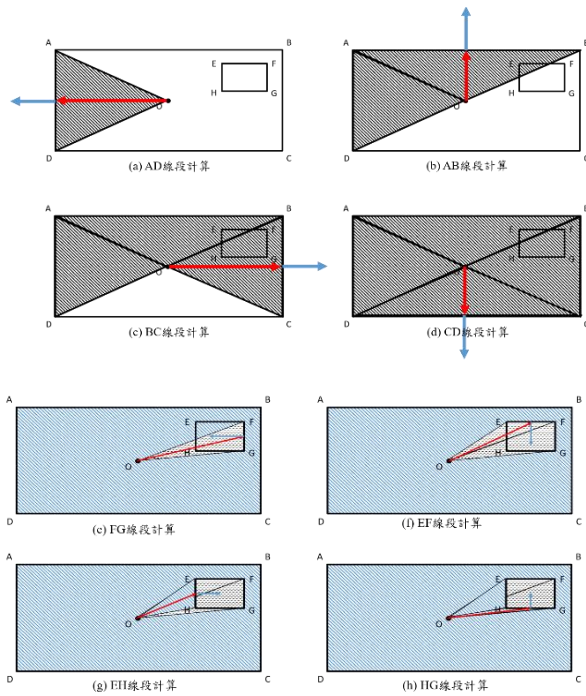


圖 3 配合法向量計算截面積

3.3 粒子群演算法設計

由於截面積的計算帶有誤差，故在設計最佳化演算法時平面位置的精度不可太高。而為了讓演算法的收斂速度增加，會先將切割位置離散化以降低單位長度內的數據複雜度(如圖 4 所示)，並預先將所有切割距離最大化以降低單一方向中的切

割變數數量(如圖 5 所示)。

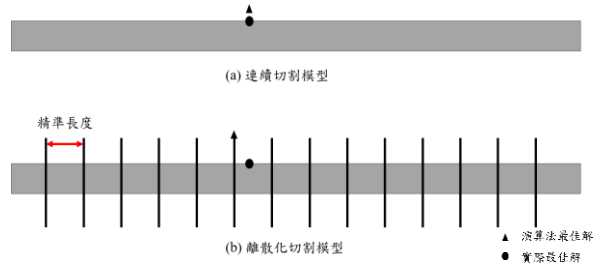


圖 4 切割位置離散化

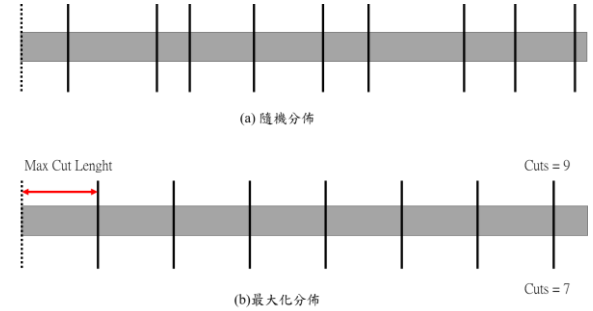


圖 5 切割長度最大化

在切割位置離散化後，原先的 PSO 向量移動模型則需要重新調整。故本研究定義變異度為粒子可能移動的範圍。

$$\text{Variability} = \left[\frac{\text{Max Cut Length}}{\text{精準度}} \right] \div 4 \quad (6)$$

需要注意的是由於粒子隨機移動時，兩粒子的距離不可超過容器尺寸(如 Equation(3)(4)(5))，故當兩粒子距離超過尺寸時，需要將粒子拉回長度限制區。

在本研究中定義 Global Best 為總截面積最小切割的組合，而 Local Best 為特定區段中的最小截面積位置，並利用粒子在 Local Best 附近移動輔助 Global Best 找尋更小的總截面積切割組合。

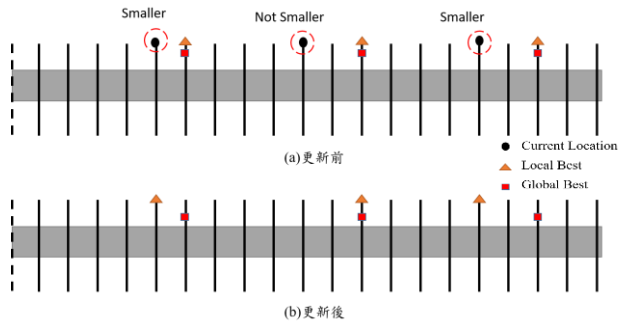


圖 6 Local Best 更新方法

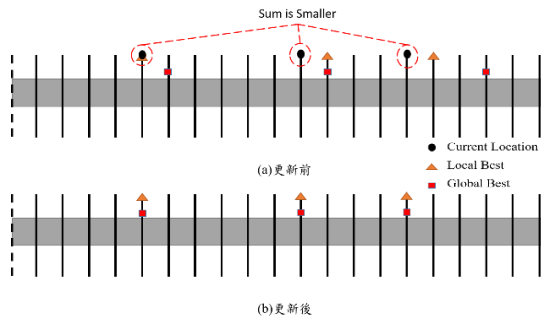


圖 7 Global Best 更新方法

3.4 切割模擬

在本次的切割模擬中使用 SolidWorks 中的「分割」特徵作為切割模擬，只要所有切割平面選取後執行分割，即會將所有的零件分離並儲存為不同的檔案。

4. 切割展示

頂部導板的切割容器使用的是 1,000 mm x 1,000 mm x 1,200 mm 的容器，而使用的切割刀具厚度為 6 mm。而在演算法的參數設計中使用 100 次的迭帶次數，且切割精確度設為 10 mm。演算法執行的切割時間約為 35 sec，且切下的零件數量為 18，切削廢料的體積為 2,709,059 mm³。

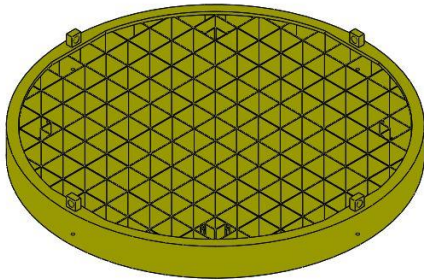


圖 8 頂部導板工程圖

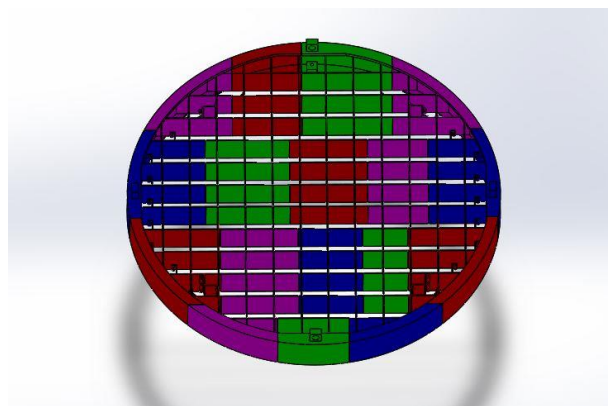


圖 9 頂部導板切割後組合檔

5. 結論與未來展望

本研究最終可以自動化以及最佳化切割 3D 工程圖，且使用者可以依照自己的切割工程需求輸入不同的容器參數以及切割刀具厚度去計算廢料體積成本。而本研究的競爭優勢在於 STL 檔快速截取截面積增加不少程式效率。但缺點在於切割模式以及切割容器形式並不夠多元化，無法滿足所有特徵的最佳切割工程規劃。

故希望在未來能夠開發不同座標系的切割模型以及切割容器，擴大軟體的使用客戶規模，並增加最佳化效能。

6. 參考文獻

- [1] G.-Q. Dun and H.-T. Chen, "SolidWorks API Methods of Modeling for Seed Plate Based on VB," *Soybean Science*, vol. 31, no. 4, pp. 630-634, 2012.
- [2] J. Li, L. Li, Z. Dong, and D. Song, "An Automatic Posture Planning Software of Arc Robot Based on SolidWorks API," *Modern Applied Science*, vol. 3, 06/19 2009
- [3] S.-N. M. and M. Gy, "Analysis of STL files," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 38, no. 7, pp. 945-960, 2003/10/01/ 2003,
- [4] M. Eragubi, "Slicing 3D CAD Model in STL Format and Laser Path " *International Journal of Innovation, Management and Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 410-413, 2003.