

基因演算法在網際機構合成系統上的應用

葉岱錦 研究生 虎尾科技大學 機械與機電研究所 djj@mde.nfu.edu.tw	謝政良 研究生 虎尾科技大學 機械與機電研究所 cls@mde.nfu.edu.tw	許哲菘 研究生 虎尾科技大學 機械與機電研究所 jss@mde.nfu.edu.tw	嚴家銘 副教授 虎尾科技大學 機械與機電研究所 chiamingyen@gmail.com
---	---	---	--

摘要

本論文結合實數編碼基因演算法 (Real-coded Genetic Algorithms, RGA) 與網際運算平台，完成一套網際 (Web-based) 機構合成系統之建構。

本研究因應日趨複雜的機構最佳化設計與全球協同產品開發趨勢所完成的系統，不僅能夠透過網際介面接受設計輸入，以批次執行後端運算處理，利用電子郵件通知使用者，隨選於瀏覽器檢視 2D/3D 機構合成結果，並且具有系統模組化設計與跨操作系統平台的優點。

為了能進一步將系統合成結果，與其它電腦輔助工程與製造系統結合，分析完成後，使用者直接利用網際介面下載所需的零組件檔案。

最後利用文獻中的平面四連桿機構通過 10-點與 25-點的案例進行驗證，除了展示本網際機構合成系統之操作流程外，也呈現精確的設計結果。

關鍵詞：實數編碼基因演算法、機構合成、網際運算平台。

Abstract

In this thesis, Real-coded Genetic Algorithms (RGA) are combined with a web-based computational platform to implement a web-based mechanism synthesis system.

The increasing complexity of mechanism design optimization and trends of global collaborative product development result in the intensifying demand of a web-based optimization platform which can perform computation efficiently.

In view of this trend, the established system can not only take design inputs through the World Wide Web interface, perform background computation in batch, notify users in email and

review results with 2D/3D simulations on demand, but also allow developers to take advantages of cross operating systems and modular system design.

In order to further integrate the synthesised results with other computer aided engineering and manufacturing systems. In this platform, AutoDesk Inventor® linkage parts and assembly files can be automatically generated according to the synthesised dimensions. Users can then download these files through web-based interfaces.

To the end of this thesis, three existing 2D four-bar linkage examples with 10-point and 25-point path generation mechanism test cases are used to verify the effectiveness of the accomplished system with good accuracy.

Keywords: Real-coded Genetic Algorithms、Mechanism Synthesis、Web-based Computation Platform.

1. 前言

許多機器之設計需要特定運動的裝置，例如：將物品從 A 點移動到 B 點，或是沿著一條指定路徑將零件安置工件上；其共同處是需要透過機構合成產生連桿組達到上述所需的運動，而機構合成已被廣泛應用於工業上，如：汽車獨立式前懸吊 [15]、四輪轉向機構 [14] [13]、摺疊式輪椅 [12]、機器人 [24] [11] 等，而在自動化生產逐漸代替人力的趨勢下，更能彰顯機構合成議題的重要性。

根據表 1-1 [13]，可觀察出許多學者早在 20 世紀已著重於機構合成議題的研究，並且提出許多解決方法，例如：(1) 圖解法 - Hones 與 Nelson 提出四連桿組耦點曲線圖集 [4]，此圖集針對葛士浩 (Grashof) 曲柄搖桿組的幾何構造畫出大約 7000 個耦點曲線，應用

此方法可以找出許多路徑產生器的解答，但此方法精確點較低 [13]，(2) 方程式法解耦點曲線法 - 此方法具有三個迴圈和三個節點的方程式，用於計算該耦點近似曲線並通過一組需求點的連桿組，但因耦點曲線是一組複雜的方程式，當使用迭代法求解時，需要花費長時間的計算 [13]，(3) 最佳化法 - 此方法是將機構合成問題轉換為目標函數，並設法透過演算法將其最大化或最小化，其指定設計點與數目沒有限制，惟機構通過點數過多時需要較長的計算時間。

表 1-1 連桿組成之解析法 [13]

Type	Max Pos.	Approach	Special Features	Bibliography
Precision	4	Loop equations—closed form	Linear equations extendable to five positions	Freudenstein (1959) Sandor (1959) Erdman (1981)
Precision	5	Loop equations—Newton-Raphson	Uses displacement matrix	Suh (1967)
Precision	5	Loop equations—continuation	Specified fixed pivots, specified moving pivots	Morgan (1990) Subbian (1991)
Precision	7	Closed form 5 pt.—iterative to 7 pt.	Extendable to Watt linkage	Tylaska (1994)
Precision	9	Loop equations—Newton-Raphson	Exhaustive solution	Morgan (1987) Wampler (1992)
Equation	10	Coupler curve eqn.	Iterative solution	Bleichschmidt (1986)
Equation	15	Coupler curve eqn.	Builds on Bleichschmidt	Ananthasuresh (1993)
Optimized	N	Loop equations—least squares	Specified fixed pivots, control force and torque	Fox (1966)
Optimized	N	Loop equations—various criteria	Path or function generation	Youssef (1975)
Optimized	N	Least squares on linear equations	Prescribed timing, rapid convergence	Nolle (1971)
Optimized	N	Selective precision synthesis (SPS)	Relaxes precision requirements	Kramer (1975)
Optimized	N	SPS + fuzzy logic	Extends Kramer's SPS	Krishnamurthi (1993)
Optimized	N	Quasi-precision pos.	Builds on Kramer	Mirth (1994)
Optimized	3 or 4	Loop equations and dynamic criteria	Kinematics and dynamic forces and torques	Confe (1975) Kakatsios (1987)
Optimized	N	Loop equations—least squares	Avoids branch problems, rapid convergence	Angeles (1988)
Optimized	N	Energy method	FEA approach	Aviles (1994)
Optimized	N	Genetic algorithm	Whole curve synthesis	Fang (1994)
Optimized	N	Fourier descriptors	Whole curve synthesis	Ullah (1996)
Optimized	N	Neural network	Whole curve synthesis	Vasilio (1998)
Optimized	2, 3, or 4	Loop equations—various criteria	Automatic generation, CBO defect free	Bawab (1997)
Optimized	N	Approximate—continuation	All solutions—no initial guess required	Liu (1999)

而近年由於機構設計的議題日趨複雜，因此許多研究採用最佳化法於機構合成問題的解決，例如：Genetic Algorithm [4]、Ant Search Algorithm [3]、Simulated Annealing [1]、Tabu-Gradient [2]等最佳化分析方法，都可歸類為超啟發演算法(Metaheuristic Algorithms) [11]，其優點為適合用於傳統解析法無法求解的問題。其中，基因演算法 (Genetic Algorithms, GA) 應用於各領域的研究十分廣泛 [22]，國內外有關最佳化機構尺寸合成開發研究，許多研究採用 GA 理論與其它方法進行結合，以產生新的演算法 [25]。

上述各項與機構合成相關的研究或最佳化分析方法，大多在傳統單一電腦執行運算的模式下完成。面臨日趨複雜的機構最佳化設計與全球協同產品開發潮流，發展一套能夠高效執行運算分析的網際最佳化設計平台，自有其

重要性，因此網際平台結合超啟發搜尋法與機構合成的應用與日俱增，例如：網際機構分析與模擬應用 [5]、網際凸輪設計應用 [6]、網際最佳化電磁設計分析應用 [18]、網際船型最佳化設計應用 [10] 與網際物流中心與其客戶之資訊整合系統 [9] 等。綜觀上述現況與啟發搜尋法的應用趨勢，本論文擬利用基因演算法建構一套網際機構合成系統，並以跨平台與模組化的方式進行，達到高效執行最佳化設計運算分析的目的。

圖 1-1 為本論文所提出網際系統架構圖。

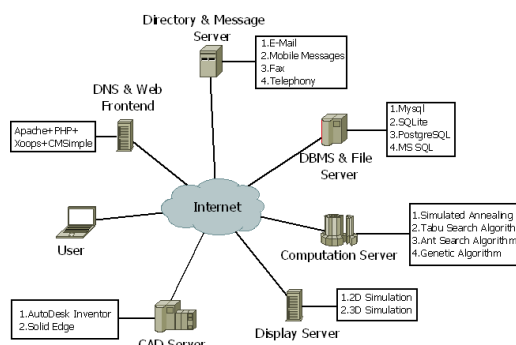


圖 1-1 網際系統整合

圖 1-1 網際系統整合由 7 個模組所組成，此系統架構特點，可依照設計者解決的問題，針對各個模組做延伸或替換。本研究是將網際系統整合最佳化機構合成，解決平面路徑生成的議題，圖 1-2 為網際系統的流程圖，表 1-2 為各模組所採用的建構工具。

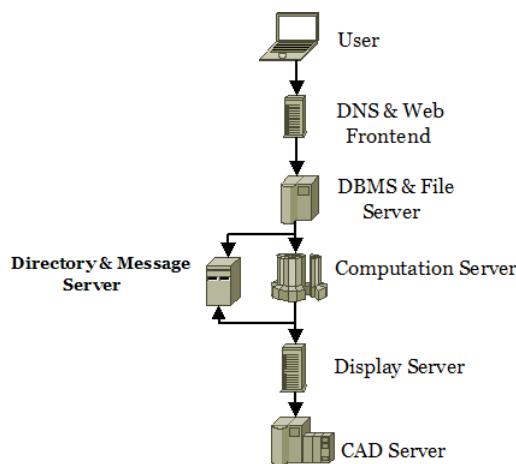


圖 1-2 網際系統流程

表 1-2 模組與所採用之工具

模組	所採用之工具
DNS & Web Front-end (DNS 與網際前端主機)	BIND+Apache+PHP+ Xoops+CMSimple
DBMS & File Server (資料庫與 檔案伺服器)	ADODB+PDO+SQLite3.0
Computation Server (運算伺服 器)	Win32 及 Linux 64，進行 RGA 運算
Display Server (顯示伺服器)	Java Applet 及 Java OpenGL library，進行 2D/3D 機構模擬
CAX Server (電 腦輔助(設計，工 程，製造等)伺服 器)	AutoDesk Inventor Professional CAD 系統透 過 PHP 程式進行連結

2. 實數編碼基因演算法

基因演算法又名遺傳演算法，其基本理論是由密西根大學 John Holland 教授於 1975 年 [20] 所提出自然與人工系統的適應問題著作，是一種模擬「物競天擇」及「自然遺傳」的搜尋法則 (search algorithm)，GA 屬於全域搜尋法一種，採用隨機多點搜尋技巧，在搜尋空間上進行跳躍式搜尋，且有機會搜尋至全域最佳解，最大特色不論適應函數為何，皆不需要複雜運算過程。

在基因演算法的演算過程中，參數經過浮點數所組成之基因演算法稱之為 RGA，本研究是使用於 Prof. Noyan Turkkan 在 2004 年 10 月所釋出的 RGA 模組進行求解演算，將其修改為適用於求解機構尺寸合成的問題，以下將敘述實數編碼基因演算法程序 [11]，如圖 2-1。

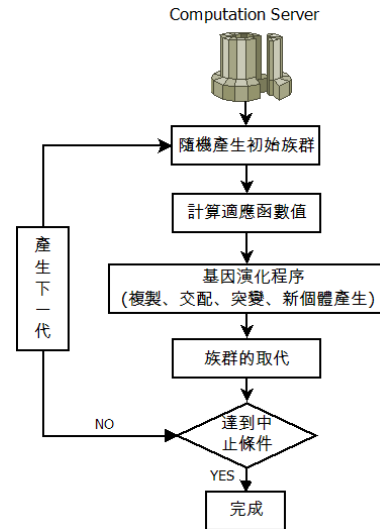


圖 2-1 基因演算法流程圖 [17]

2.1. 產生初始族群

RGA 採用隨機多點搜尋技巧，演算前須先產生一組初始族群 (Initial Population)，以便進行後續演化的運算過程。再產生初始值的過程中，加入限制條件讓初始值滿足 Grashoff 定律 [7] 所提出的分別為：

- I. 主動桿必為最短桿件。
- II. 主動桿與相鄰桿相加必小於其它兩桿相加。
- III. 主動桿任意與其兩桿相加總合必大於所剩的一桿件。

主要目的是讓 GA 再產生初始值能滿足曲柄搖桿機構，並且提高 GA 收斂速度。

2.2. 適應函數處理

適應函數即為目標函數，利用適應值 (Fitness) 來衡量每一個染色體在整個問題中的適應程度，適應函數值之好壞，可依求解的問題所訂定。

本研究定義適應函數為需求路徑點與實際路徑點誤差距離總和為最小值 [4]；因此，所定義的適應函數 Fit 如下式 (1)：

$$Fit = \sum_{i=0}^{24} \sqrt{(P_i^x - O_i^x)^2 + (P_i^y - O_i^y)^2} \quad (1)$$

其中 P_x 與 P_y 為需求路徑點之 x 與 y 分量， O_x 與 O_y 為實際路徑點之 x 與 y 分量，i 為路徑需求點的序號。

接著針對圖 2-2，分析四連桿耦點位置，

並且根據四連桿機構尺寸分析來定義設計變數。族群中每一條染色體皆代表一組設計變數 (V)，本研究根據四連桿機構尺寸分析，在最佳化設計的數學模型，採用原點 (A)、桿件一 (r₁)、桿件二 (r₂)、桿件三 (r₃)、桿件四 (r₄)、桿件五 (r₅)、桿件三及桿件五夾角 (β) 及桿件一水平線夾角 (θ₀)，七個設計變數編排順序為

$$V = [r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, \beta, \theta_0, A_x, A_y, \theta_2^i] \quad (2)$$

，其中 θ_2^i 為通過 i 點時 θ_2 的角度， A_x 與 A_y 為 A 點之 x 與 y 分量。

本研究透過解析法中的三角幾何法與向量法結合求得位置分析。

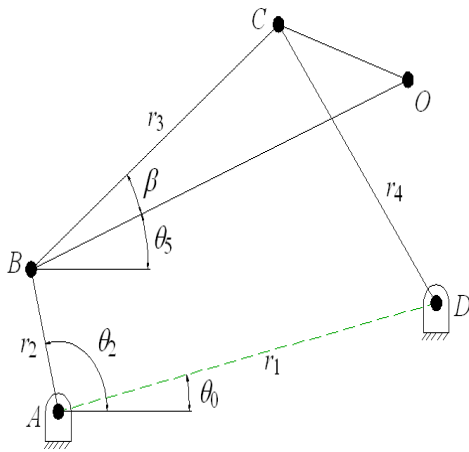


圖 2-2 平面四連桿幾何圖形

2.3. 選擇及複製

複製是根據每條染色體適應能力高低，決定其被複製到下一代機率，適應能力好的能夠抵抗環境因素生存下來，適應力較差的則淘汰。常見的有輪盤式選擇法 (Roulette Wheel Selection) [24] 及競爭式選擇法 (Tournament Selection) [24]，本文是採用競爭式選擇法。

2.4. 交配

交配的方法為改編 Wright [23] 所提出的方法。每個體皆會產生隨機值 (rnd)，如果交配率 (p_c) 大於 rnd，則當族群個體進行交配，接著選取交配池中兩個族群個體，選取的方法為，如果是第一族群需要交配，則抓取交配池中的排列第一與第二的族群個體，最後產

生三個新族群個體，但三個新族群中，第二與第三新族群個體會超界的危險；超界是產生新族群個體數值超過或小於設定的上下限值 [25] [26]。如果超界則產生新的數值取代超界數值。(3) 式所產生的三個新族群個體，將淘汰一個新族群個體，保留二個新族群個體，而淘汰的方法為藉由三個新子代族群個體，帶回適應函數處理產生三個適應值，淘汰適應值最差的新族群個體，保留兩個新族群個體。

$$\begin{aligned} x_1 &= 0.5 \times x_{p(i,j)} + 0.5 \times x_{p(i+1,j)} \\ x_2 &= \text{check}(1.5 \times x_{p(i,j)} - 0.5 \times x_{p(i+1,j)}) \\ x_3 &= \text{check}(-0.5 \times x_{p(i,j)} + 1.5 \times x_{p(i+1,j)}) \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 式中的 i 為第幾個族群個體要交配，j 為族群個體中第幾個設計變數，check 為檢查超界的數值。

2.5. 突變

基因演算過程中，突變運算子是以突變率作為控制個體中設計變數變異的機率，突變機率值一般設在 0.01 至 0.08 [25]，若定得太高 GA 不易收斂。

本研究採用的方式為非均勻突變 (Non-Uniform Mutation)，突變運算子的作法為：設 pm 為突變率，所有的族群個體皆隨機產生一個隨機值 (rnd)，若 rnd < pm，該族群個體將進行突變，再透過系統隨機產生介於 [0, nParm] 的整數，決定要突變的設計變數 V_i，(4) 式與 (5) 式為突變方程式：

$$V_i = V_i + (\max_i - V_i) \times rnd \times (1 - gen \div gen_{\max})^{(pm)} \quad (4)$$

$$V_i = V_i - (V_i - \min_i) \times rnd \times (1 - gen \div gen_{\max})^{(pm)} \quad (5)$$

式中的 gen 為目前演化的世代數，gen_{max} 為初始設定的世代數，pm 為突變參數，圖 2-3 為突變方式。

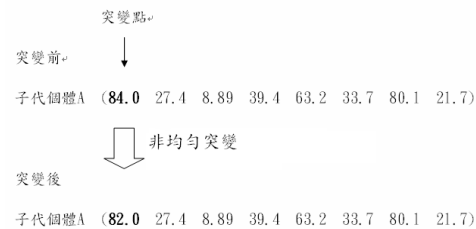


圖 2-3 RGA 突變方式

2.6. 收斂準則

目前 RGA 仍然缺乏一個有效數學理論所推導出的收斂準則 [16]，為了讓 RGA 演化不會陷入無窮迴圈，應預先設定何時終止基因演算法之運作準則，並以演算過程中，所獲得最佳解作為此次運算解。本研究選擇 I 與 II 的收斂準則：基因代數達到預先設定之遺傳總代數 gen 與當適應函數值小於設計值，即予以終止，做為收斂準則。

- I. 演化代數達到最大的演化代數。
- II. 適應函數值小於設計值，即予以終止。

3. 網際機構合成系統整合

在日趨複雜的機構最佳化設計與全球協同產品開發潮流，導致對於能夠高效執行運算分析的網際最佳化設計平台之需求，也與日俱增。

本研究因應此一趨勢所完成的系統，不僅能夠透過網際介面接受設計輸入，以批次執行後端運算處理，利用電子郵件通知使用者，隨選於瀏覽器檢視 2D/3D 機構合成結果，並且具有系統模組化設計與跨操作系統平台的優點。

為了能進一步將系統合成結果，與其它電腦輔助工程與製造系統結合，本系統能以自動連結方式，產生 Autodesk Inventor 格式的機構零件與組立檔。分析完成後，使用者直接利用網際介面下載所需的零組件檔案。圖3-1為規劃的設計流程。

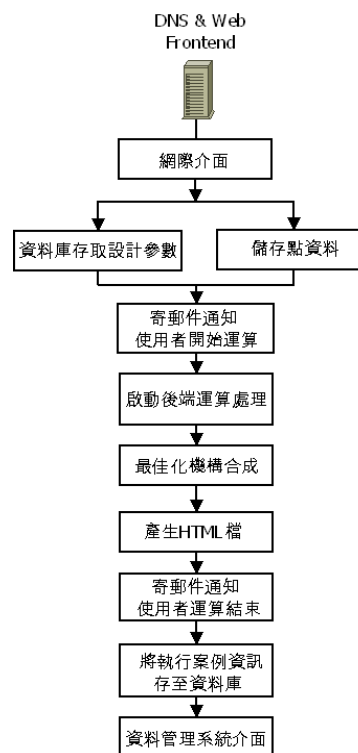


圖 3-1 網際介面至資料管理系統流程圖

3.1. 網際介面

網際介面是藉由 XOOPS(eXtensible Object Oriented Portal System) [21] 平台，XOOPS 發展源自於廣受文件管理及網站入口系統的社群喜愛觀念，它是一個易於使用、維護及管理的文件管理系統，系統透過統一管理介面維護的模組增加可擴充性，此平台是一個高度可擴充、具物件導向且易於使用的動態網站內容管理系統 (MMS)，採用 PHP 語言來設計，以下為在 Xoop 平台以 PHP 語言設計介面說明。

此介面是填表單方式進行運作，表單首頁需要填的表格為：Name、Email、Total_error、N_point 與 Target Point，其中 Total_error 為使用者輸入需求點與實際路徑點與每一點誤差總和；使用者確定之後按下 Next 按鍵，進入下一個頁面，而按下 Next 按鍵系統已將資料存入資料庫中，確定沒問題即可按下 Finish 完成後，系統則會啟動後端運算處理。圖 3-2 為網際介面之首頁。



圖 3-2 網際介面(首頁)

3.2. 資料庫

這部份工作為接收使用者輸入的資料，在 Windows 系統使用的資料庫為 SQLite

Status	Name	Total_error	N_point	email	file_name
9	25	25	7	Justi	djy@mde.nfu.edu.tw
5	Yen	0.1	7	Yen@mde.nfu.edu.tw	20090707130701
5	Yen	0.1	7	chiamingyen@gmail.com	20090707131014
5	Yen	0.01	7	Yen@mde.nfu.edu.tw	2009070834826
5	Yen	0.3	20	chiamingyen@gmail.com	2009070835425
5	Justin	0.36	4	djy@mde.nfu.edu.tw	2009070873512
5	Yen	0.01	8	Yen@mde.nfu.edu.tw	2009070873849
5	Yen	0.01	11	Yen@mde.nfu.edu.tw	2009070874512
3	Justin	0.36	4	djy@mde.nfu.edu.tw	2009072159544
3	Justin	0.36	4	djy@mde.nfu.edu.tw	20090721595618

圖 3-3 SQLite 3.0 格式

SQLite 與 Access 資料庫的使用方法類似，都可以直接以檔案的方式進行資料存取，無需安裝伺服器端程式，大多數 SQL-92 的語法都能夠使用。SQLite 支援多種程式語言的連結，其中包括 C/C++、Java 與 PHP，圖 4-8 為本研究使用 SQLite 3.0 所建立的資料庫。

在本研究使用的方法為定義資料狀態，資料狀態不同的數值，各別代表一個階段，表 3-1 為本研究定義各資料狀態所代的階段。

表 3-1 資料狀態

Status	Define
1	新增資料
2	郵件通知使用者
3	啟動最佳化運算
4	完成最佳化運算，產生 HTML 檔
5	完成郵件通知使用者

6	將案例資訊存至資料庫
---	------------

3.2.1. C/C++ 連接 SQLite

C/C++ 連接 SQLite 是透過 SQLite3.h 連結，如程式 (6)、(7)、(8)：

```
include <SQLite3.h> (6)
```

接著透過 SQLite3_open 開啟資料庫，

```
SQLite3 *db=NULL (7)
```

```
SQLite3_open("/*.s3db", &db) (8)
```

最後透過程式 (9)，即可完成資料庫的連接。

```
SQLite3_get_table(db, sql, &Result, &nrow, &ncolumn, &errmsg) (9)
```

程式碼 (9) 中的 db 為開啟所指定的資料庫、sql 為執行的 sql 指令、&Result 則儲存 sql 執行結果、&nrow 為執行結果的資料筆數、&ncolumn 則為執行結果的資料欄位數、&errmsg 則為錯誤信息。

3.2.1. PHP 連接 SQLite

首先 PHP 透過 (10) 式引入 ADODB 5，呼叫 ADODB 提供的函式，接著

```
include ('adodb5/adodb.inc.php') (10)
```

藉由 (11) 與 (12) 式選擇 PDO 連接 gaparameter.s3db 數據庫，

```
$dbc = &ADONewConnection ('pdo') (11)
```

```
$dbc=>Connect ("SQLite:gaparameter.s3db") (12)
```

最後透過 (13) 式執行 sql 命令，即可完成。

```
$rs=$dbc=>Execute ("SELECT Name FROM gaparameter ") (13)
```

3.3. 電子郵件系統

在此小節主要說明，系統如何完成寄郵件通知使用者訊息，一般在使用寄信與收信的流程，如圖 3-4 [19]：

一、寄信人將郵件上網寄出後，透過 SMTP(Simple Mail Transfer Protocol, 簡易

郵件傳送協定)，將郵件送到寄信人的郵件主機 (Mail Server)。

二、寄信人的郵件主機再透過 SMTP 經由網際網路，將信寄送至收信人的郵件主機帳號信箱上。

三、收信人經由網際網路連結郵件主機，透過 POP(Post Office Protocol, 郵局協定)，從郵件主機下載郵件到電腦的 E-mail 軟體裡或閱讀個人的郵件。

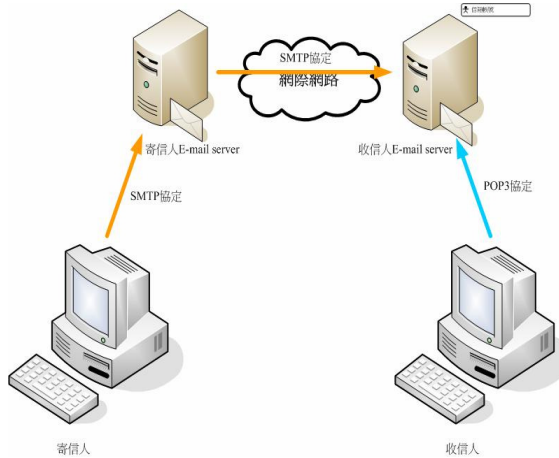


圖 3-4 郵件寄信與收信流程 [19]

在本系統只提供寄發郵件的部分，主要是先透過 PHP 提供寄信的功能 mail(\$email, 'My Subject', \$message)，其中 email 為使用者的電子郵件位址，message 為通知使用者的訊息。

3.4.後端運算處理

此小節主要說明使用者填入資料後，系統如何啟動最佳化程式，一開始的方法是藉由 Windows XP 系統所提供的排定工作功能，藉由此功能固定的時間查詢資料庫有無新資料，若有新資料則啟動批次檔呼叫最佳化程式，但如果兩筆新增資料，第二筆呼叫最佳化程式會有錯誤產生，且若需跨平台 Windows XP 所提供的功能勢必再做修改，所以把執行最佳化程序修改，使用者填完表單作最後一個動作為按下 Finish 按鍵，即啟動後端運算處理，以下為後端運算處理函式。

```
(substr(php_uname(), 0, 7) == "Windows") (14)
```

```
pclose(popen("start /B ". $mmd, "r")) (15)
```

其中程式(14)是為了確定系統為 Windows，程

式(15)為啟動 \$mmd 到後端運算處理。

3.5.動態機構模擬

展示最佳化機構尺寸，使用者能隨選於瀏覽器檢視 2D/3D 機構合成結果，是透過 VM(Virtual Machine) 連結 Java applet 將結果以動態方式呈現在客戶端，如圖 3-5 所示。

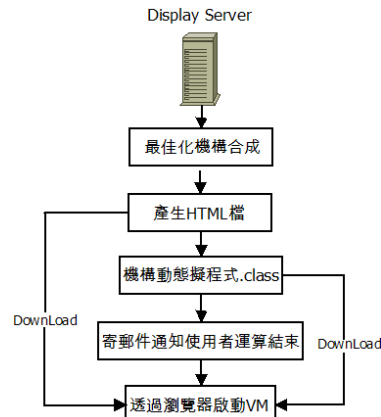


圖 3-5 Java Applet 呈現在瀏覽器上之流程圖

3.5.1. 2D 動態機構模擬

Java 程式概念撰寫 Java Applet 相關程式後，於 HTML 文件嵌入 <applet> 標籤，其格式，如表 3-2、3-3、3-4。

表 3-2 HTML 架構表

區塊	說明
<html></html>	HTML 文件，內含 <head> 與 <body> 區塊
<head></head>	HTML 文件的標題、網址、本分相關定
<body></body>	HTML 文件實際的編排內容

<applet> 標籤基本架構如表 3-3 所示：

表 3-3 <applet> 標籤架構

屬性	對應的名稱與數值	註解
code	Crank.class	Java Applet 的類別檔案名稱
width	1000	Java Applet 顯示尺寸的寬
height	600	Java Applet 顯示尺寸的高

<param>標籤是在 <applet> 標籤中，基本架構如表 3-4 所示：

name 屬性：參數名稱。

value 屬性：參數值。

表 3-4 <param> 標籤架構

參數名稱 (param name)	參數名稱說明 (value)
length_p	使用者輸入的需求點座標
length_error	實際路徑與需求路徑每點誤差
length_angle	實際點通過需求點每點角度
length_a	四連桿機構 A 點座標
length_b	四連桿機構 B 點座標
length_c	四連桿機構 D 點座標
length_q	四連桿機構 C 點座標
length_d	四連桿機構 O 點座標
length_r1~r5	四連桿機構桿件一至桿件五
length_b	出四連桿機構 β 角度
length_d0	四連桿機構桿件一夾角 D_0
length_point	使用者輸入需求點的數目

綜合表 3-2、3-3、3-4，產生 HTML 文件，如圖 3-6，使用者收到信件點擊超連結 HTML 文件。圖 3-7 為使用者啟動郵件中的超連結顯示的動態機構模擬。

```
<HTML><HEAD></HEAD>
<BODY BGCOLOR=000000>
<CENTER>
<APPLET
code = Crank.class
width = 1000 height = 600
<param name=length_px0 value=0.000000 <param name=length_py0 value=0.000000>
<param name=length_error0 value=0.008 <param name=length_angle0 value=30.293>
<param name=length_cx value=30.140378 <param name=length_cy value=9.1215114>
<param name=length_bx value=78.116852 <param name=length_by value=9.1215114>
<param name=length_dx value=54.641124 <param name=length_cd value=87.014594>
<param name=length_cx value=78.283613 <param name=length_cy value=9.5749419>
<param name=length_qx value=-5732.953 <param name=length_qy value=-3935.566>
<param name=length_dx value=-7079.556 <param name=length_dy value=30.999159>
<param name=length_ox value=141.92617 <param name=length_oy value=14.978304>
<param name=length_r1 value=48.065371 <param name=length_r2 value=47.976472>
<param name=length_r3 value=54.641124 <param name=length_r4 value=87.014594>
<param name=length_r5 value=64.076787 <param name=length_b value=28.9324315>
<param name=length_d0 value=0.5405211 <param name=length_point value=1>
</APPLET></CENTER></BODY></HTML>
```

圖 3-6 HTML 內嵌 <applet> 標籤

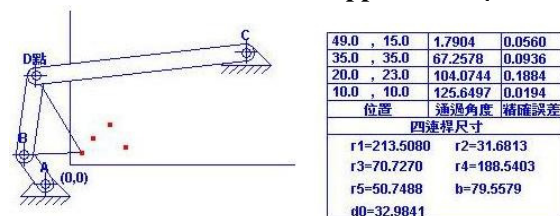


圖 3-7 2D 動態機構模擬

3.5.1. 3D 動態機構模擬

Java Applet 3D 與 Java Applet 2D 相同，需要將 <applet> 內嵌於 HTML 文件，其基本架構與 Java Applet 2D 相似如下所示：

Code:連結 JNLP。

JNLP 是 Java 提供的一種讓使用者通過瀏覽器直接執行 Java 應用程序的途徑。

Archive:連結 JOGL 套件。

因為 3D 動態機構模擬是藉由 JOGL 套件完成，所以必須要做連結讓使用者能下載，並且順利展示。JOGL 是一種 Java 程序設計語言，它聯繫 OpenGL 3D 圖形應用程式介面；因此，擁有 OpenGL 主要三個函式：GL、GLU、AUX (現已多以 GLUT 取代)的功能，擁有 Java 本身的 AWT 和 Swing 套件的功能，對於 2D、3D 圖形的圖形顯示及人機介面設計的議題，更能方便的解決。圖 3-8 為透過 Java Applet 3D 展示。

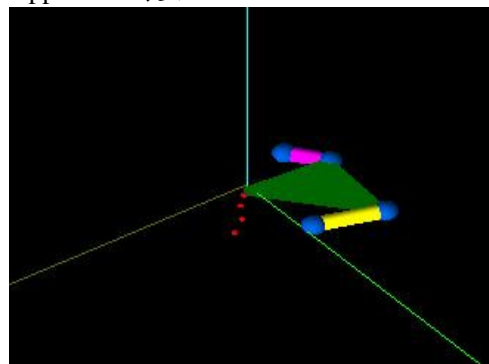


圖 3-8 3D 動態機構模擬

3.6. Autodesk Inventor 自動產生零組件

合成系統中除了能將模擬結果以 2D、3D 展示，為了讓使用者能直接取得零組件，更進一步作 CAE 分析等作運，提供自動產生零件的功能。Autodesk Inventor 是一套 3D 機構設計、模擬、模具設計以及設計溝通提供了一組全方位且彈性十足的軟體，可協助使用者以極具成本效益的方式，利用數位化原型的設計工作流程，以更短的時間內設計及製造出更好的產品 [17]。以下將介紹如何透過 PHP 連結 Autodesk Inventor，並將尺寸修改為最佳化尺寸，如圖 3-9 所示。

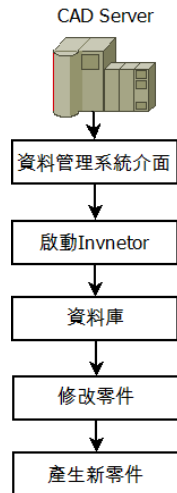


圖 3-9 自動產生零件程序

藉由 Autodesk Inventor 按照圖2-2建立零件，並且將需要參數化的尺寸標註，如表3-5所示。

表 3-5 零件與對應的參數名稱

零件名稱	標註位置	參數名稱
Axy	桿件一長度	d0
	桿件一與水平夾角	d1
r2	桿件二長度	d0
r4	桿件四長度	d0
link	桿件三與桿件夾角	d2
	桿件三長度	d3
	桿件五長度	d4

透過表3-5將零件建立與參數設定完成，並將其組立即可。

要將 Autodesk Inventor 啟動則使用 PHP 所寫程式 (16) 來連結

`new COM("Inventor.Application")` (16)

接著透過程式 (17) 開啟之前所建立的零件，

`$Inventor->Documents->Open("part_path")`(17)

藉由程式 (16)、(17) 開啟參數設定位置，將表 3-5 參數名稱輸入即可。

`$Inventor->ActiveDocument->ComponentDefinition->Parameters` (18)

`$objLengthParam = $objParameters->Item("d0")` (19)

將從資料庫取得最佳化尺寸輸入作修改，如程式 (20) 與 (21)。

`$objLengthParam->Expression = "最佳化尺寸"` (20)

`$Inventor->ActiveDocument->Update ()` (21)

3.7. 資料管理平台

本研究在管理使用者資料，採用類似資料庫管理方式進行，其格式主要以使用者、合成點數、GA 收斂圖、點資料，2D 模擬、3D 模擬與 Inventor

組合零件下載部分，如圖3-10所示。資料管理平台對產品設計開發是很重要部分，在往後能讓此系統加入版次管理，讓介面能與使用者溝通，例如：設計變更、CAE 分析…等部分，會是一個更加完善 WPDPM 平台。



圖 3-10 資料管理系統介面

4. 研究結果

此章節利用文獻中的平面四連桿機構通過 25-點與 10-點的案例進行驗證，除了展示本網際機構合成系統之操作流程外，也呈現精確的設計結果。其操作流程為：

- 一、透過網際介面接受設計輸入。
- 二、以批次執行後端運算處理。
- 三、利用電子郵件通知使用者。
- 四、隨選於瀏覽器檢視 2D/3D 機構合成結果。

為了能進一步將系統合成結果，與其它電腦輔助工程與製造系統結合，本系統能以自動連結方式，產生 AutoDesk Inventor® 格式的機構零件與組立檔。分析完成後，使用者直接利用網際介面下載所需的零組件檔案。圖 4-1 為結合實數編碼基因演算法與網際運算平台，完成一套網際 (Web-based) 機構合成系統之完整流程圖。

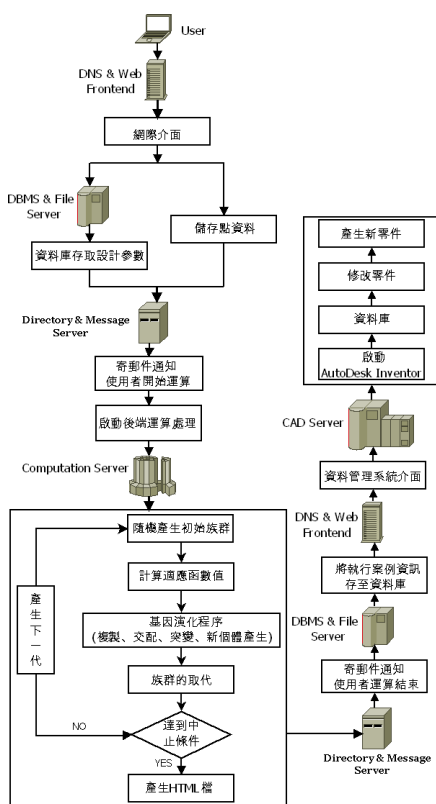


圖 4-1 合成系統完整流程圖

4.1. 案例一

本研究根據文獻 [15] 進行平面 10 點四連桿機構合成，如圖 4-2 所示。使用者輸入內容為：

本程式的目的是讓使用者能方便利用web填表執行GeneticAlgorithm 請填寫下列參數，以完成最佳化四連桿尺寸設計：

Name(使用者): Justin

Email(電子郵件): djy@mde.nfu.edu.tw

Total_error(總誤差): 0.05

N_point(幾點): 10

Target Point(需求點):

```

x1 1 y1 1
x2 2 y2 2
x3 3 y3 3
x4 4 y4 4
x5 5 y5 5
x6 6 y6 6
x7 7 y7 7
x8 8 y8 8
x9 9 y9 9
x10 10 y10 10
    
```

Next

圖 4-2 網際網路介面輸入表單

Name : Justin ;
 Email : djy@mde.nfu.edu.tw ;
 Total_error : 0.05 mm ;
 N_point : 10 ;
 Target_Point : 如表 4-1 所示。

表 4-1 10 個路徑需求點座標

Ponit n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x-(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y-(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

當使用者完成第一個步驟，將會收到一封郵件通知開始運算，運算完成則會接收到郵件通知運算完成，如圖 4-3 所示。



圖 4-3 運算前後之郵件通知畫面

經由最佳化運算設計變數為：

- $r_1 = 60.755mm$;
- $r_2 = 12.1087mm$;
- $r_3 = 89.2757mm$;
- $r_4 = 123.6762mm$;
- $r_5 = 60.1553mm$;
- $\beta = 49.6249^\circ$;
- $\theta_0 = 8.6378^\circ$.

實際點通過需求點的角度與誤差如表 4-2：

表 4-2 案例一路徑需求與實際點誤差

位置	通過角度	精確誤差(mm)
(10,10)	63.462176	0.012258
(9,9)	77.962308	0.000713
(8,8)	90.025089	0.002906
(7,7)	100.428335	0.000495
(6,6)	110.403938	0.002863
(5,5)	120.518948	0.003708
(4,4)	319.060798	0.000953
(3,3)	140.884102	0.004365
(2,2)	151.909367	0.007729
(1,1)	162.700667	0.001890

最佳化所花費的時間約為 45 分鐘， $Fit = 0.025748mm$ ，低於最初所設計的 0.05 mm；因此，RGA 終止條件為實際總誤差小於使用者設計誤差，最後使用者透過郵件中起連結，檢視 2D、3D 動態機構模擬，如圖 4-5、4-6 所示，圖 4-4 為 RGA 收斂部分，圖 4-7

為 Invertor 組合圖。

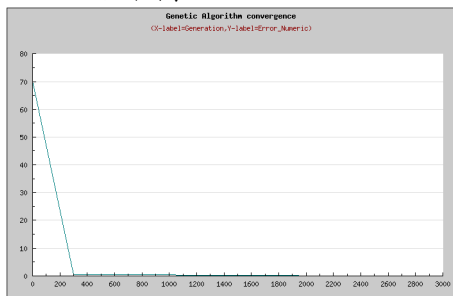


圖 4-4 RGA 求解 10 點總誤差收斂圖

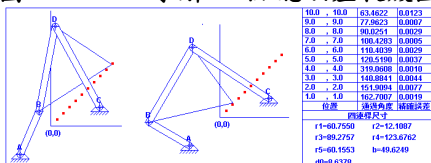


圖 4-5 2D 動態機構模擬

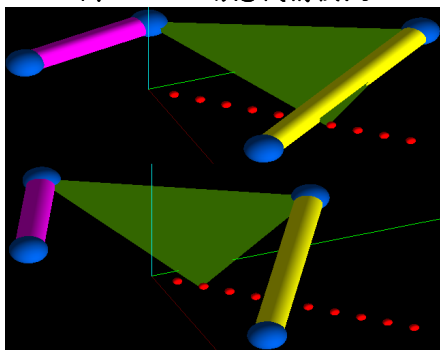


圖 4-6 3D 動態機構模擬

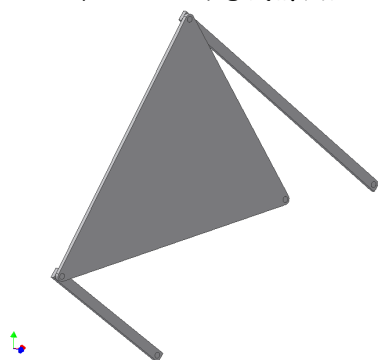


圖 4-7 案例一 Invertor 組合圖

4.2. 案例二

本研究根據文獻 [8] 進行平面 25 點四連桿機構合成，如圖 4-8 所示。使用者輸入內容為：

本程式的目的是讓使用者能方便利用 web 填表執行 Genetic Algorithm 請填寫下列參數，以完成最佳化四連桿尺寸設計：

Name(使用者): Justin

Email(電子郵件): dly@mde.nfu.edu.t

Total_error(總誤差): 1

N_point(幾點): 25

Target Point(需求點):

```

x1 4.53 y1 6.75
x2 5.07 y2 6.85
x3 5.44 y3 6.84
x4 5.89 y4 6.83
x5 6.41 y5 6.8
x6 6.92 y6 6.58
x7 7.03 y7 5.99
x8 6.95 y8 5.45
x9 6.77 y9 5.03
x10 6.4 y10 4.6
x11 5.91 y11 4.03
x12 5.43 y12 3.56
x13 4.93 y13 2.94
x14 4.67 y14 2.6
x15 4.38 y15 2.2
x16 4.04 y16 1.67
x17 3.76 y17 1.22
x18 3.76 y18 1.97
x19 3.76 y19 2.78
x20 3.76 y20 3.56
x21 3.76 y21 4.34
x22 3.76 y22 4.91
x23 3.76 y23 5.47
x24 3.8 y24 5.98
x25 4.07 y25 6.4
    
```

Next

圖 4-8 網際網路介面輸入的參數

Name : Edsion ;
 Email : justindjy@gmail.com ;
 Total_error : 1mm ;
 N_point : 25 ;
 Target_Point : 如表 4-3 所示。

表 4-3 25 個路徑需求點座標

Ponit n	1	2	3	4	5	6
x-(mm)	4.53	5.07	5.45	5.89	6.41	6.92
y-(mm)	6.75	6.85	6.84	6.83	6.8	6.58
Ponit n	7	8	9	10	11	12
x-(mm)	7.03	6.95	6.77	6.4	5.91	5.43
y-(mm)	5.99	5.45	5.03	4.6	4.03	3.56
Ponit n	13	14	15	16	17	18
x-(mm)	4.93	4.67	4.38	4.04	3.76	3.76
y-(mm)	2.94	2.6	2.2	1.67	1.22	1.97
Ponit n	19	20	21	22	23	24
x-(mm)	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.8
y-(mm)	2.78	3.56	4.34	4.91	5.47	5.98
Ponit n	25					
x-(mm)	4.07					
y-(mm)	6.4					

當使用者完成第一個步驟，將會收到一封郵件通知開始運算，運算完成則會接收到郵件通知運算完成，如圖 4-9 所示。



圖 4-9 運算前後之郵件通知畫面

經由最佳化運算設計變數為：

$$r_1 = 9.65mm ;$$

$$r_2 = 2.5086mm ;$$

$$r_3 = 7.867mm ;$$

$$r_4 = 50.408mm ;$$

$$r_5 = 120.96mm ;$$

$$\beta = 12.23^\circ ;$$

$$\theta_0 = 10.68^\circ .$$

實際點通過需求點的角度與誤差如表 4-4：

表 4-4 案例二路徑需求與實際點誤差

位置	通過角度	精確誤差(mm)
(4.53,6.75)	8.28°	0.384646
(5.07,6.85)	15.73°	0.210661
(5.44,6.84)	24.69°	0.311072
(5.89,6.83)	29.90°	0.266883
(6.41,6.8)	36.44°	0.518571
(6.92,6.58)	48.13°	0.854650
(7.03,5.99)	54.18°	1.015411
(6.95,5.45)	71.35°	0.725776
(6.77,5.03)	84.79°	0.701815
(6.4,4.6)	93.59°	0.543668
(5.91,4.03)	114.56°	0.046342
(5.43,3.56)	127.79°	0.065392
(4.93,2.94)	144.16°	0.004734
(4.67,2.6)	156.89°	0.086967
(4.38,2.2)	166.55°	0.029196
(4.04,1.67)	191.21°	0.057397
(3.76,1.22)	218.56°	0.000394
(3.76,1.97)	194.18°	0.180722
(3.76, 2.78)	282.98°	0.197891
(3.76,3.56)	298.33°	0.138561
(3.76,4.34)	315.34°	0.019683
(3.76,4.91)	325.84°	0.082886
(3.76,5.47)	339.74°	0.006487
(3.8,5.98)	356.80°	0.263167
(4.07,6.4)	1.01°	0.523089

最佳化花費的時間約為 1 小時， $Fit = 6.509mm$ ，但其誤差高於使用者所設定的誤差；因此，終止 RGA 演算的條件為達到本研究設計的最大演算代數，最後使用者透過郵件中的超連結，能檢視動態機構通過 25 點需求點，如圖 4-11、4-12 所示。圖 4-10 為 RGA 收斂的部分，圖 4-13 為 Inventor 組合圖。

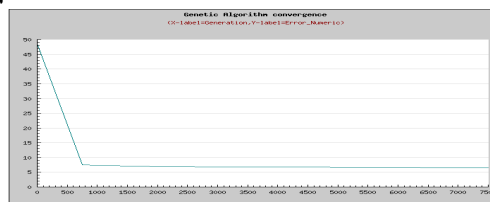


圖 4-10 RGA 求解 25 點總誤差收斂圖

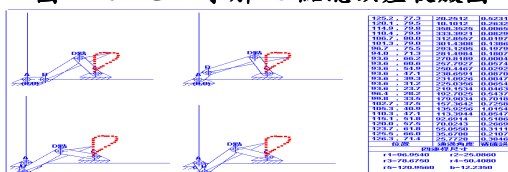


圖 4-11 2D 動態機構模擬

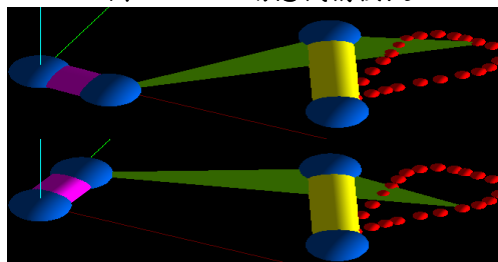


圖 4-12 3D 動態機構模擬

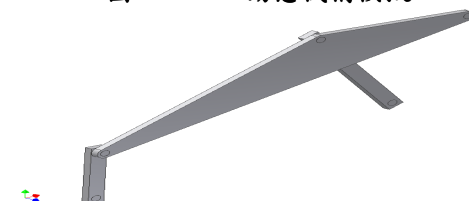


圖 4-13 案例二 Inventor 組合圖

4.3.研究結果與探討

本研究最後透過案例作為驗證此合成系統的可行性，第一個案例藉由文獻 [15]，系統合成出精確 10 點，設定總誤差為 0.05 mm，在最佳化運算時間為 45 分鐘即完成。第二個案例藉由文獻 [8]，此系統合成出精確 25 點，設定總誤差為 1 mm，最佳化運算時間為 1 小時完成運算，在本研究終止條件為 RGA 第二種條件，當演化代數達到最大時結束運算。最後案例，則是驗證此系統，跨平台至 Ubuntu Server 的可行性。結合以上三個案例，本研究已以下幾點作為本章結論與探討：

一、如果使用者設定總誤差設定為非常小如：0.0000036 mm，這可能導致終止 RGA 條件變成第二種，當演算代數達到最大結束運算，這表示使用者等待時間越長，但當演化代數到達一定，適應值下降空間也越來越小，甚至會停滯；運算時間越長結果雖然越好，但結果好的程度差異性其實不大，甚至是一樣。因此，使用者需要謹慎考量後在輸入適當的總誤差值。例如：案例二中的收斂圖 4-10 即可很明顯的察覺到這個問題，當演化代數到達 2250 代時誤差為 6.842788 mm，當演化代數達到最大時 7500 代，誤差為 6.509729 mm，適應值緩慢下降 0.3mm，而此案例需花費 1 小時，若能在新增終止 RGA 條件，條件為當適應值收斂小於適當的數值，即停止，能讓使用者節省時間成本。

二、在動態顯示部份因為 Java Applet 尚未結合局部放大與縮小功能，若使用者的需求點距離較小，因將需求點放大，是現階段可考慮的方法，這樣顯示動態模擬，使用者較能看清楚實際機構通過需求點位置，當然使用者輸入的點與點之間距離較小亦能運算，只是會有看不清楚動態機構模擬的情況。

5. 結論

本論文的研究目的有兩點：首先是最佳化四連桿機構尺寸解決平面 1-25 點路徑生成問題；接著達成跨平台模組化，單機與網際最佳化分析方法。以下為研究成果，如圖 5-1、5-2 所示：

一、最佳化四連桿機構尺寸

藉由解析法中的三角幾何法與向量迴路法，針對四連桿機構

作位置分析，並且定義適應函數；透過圖 2-2 定義設計變數；

藉由 Grashoff 定律 [7] 定義四連桿機構限制，最後藉由 RGA 求

解出最佳化四連桿機構尺寸。

二、網際系統整合

1. 網際介面：使用者輸入設計需求，並且將資料儲存至資料庫。
資料管理平台：將每一個案例資訊，依照：使用者、合成點數、GA 收斂圖、點資料，2D 模擬、3D 模擬與 AutoDesk Inventor 組合零件展示。
2. Mail Server：通知使用者開始與結束運算訊息。
3. 動態機構模擬：RGA 運算完成的最

佳化尺寸轉換成 Java Apple 格式以瀏覽器檢視 2D、3D 機構模擬。

4. AutoDesk Inventor 產生零組件：AutoDesk Inventor 建立的參數化零組件，連結最佳化尺寸，並且作修改。

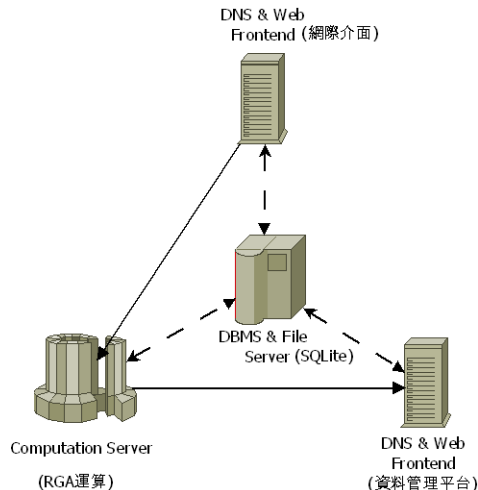


圖 5-1 網際機構合成系統架構

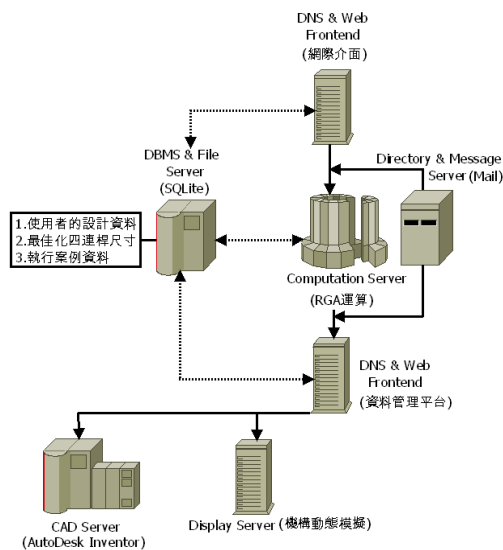


圖 5-2 網際機構合成系統

參考文獻

- [1] Horacio Martinez-Alfaro, 2007, FOUR-BAR MECHANISM SYNTHESIS FOR N DESIRED PATH POINTS USING SIMULATED ANNEALING, Applied Eng. in Agric. 23(2):34-42.
- [2] Ahmad A. Smaili, Nadim A. Diab and Najj A. Atallah, 2005, OPTIMUM SYNTHESIS OF

- MECHANISMS USING TABU-GRADIENT SEARCH ALGORITHM, ASME J. Mechanical Design Vol. 127 / 917.
- [3] Ahmad Smaili and Nadim Diab, 2005, A NEW APPROACH TO SHAPE OPTIMIZATION FOR CLOSED PATH SYNTHESIS OF PLANAR MECHANISMS, ASME. IDETC/CIE 24-28.
- [4] J.A. Cabrera, A. Simon and M. Prado, 2002, OPTIMAL SYNTHESIS OF MECHANISMS WITH GENETIC ALGORITHMS, Mechanism and Machine Theory, 37, pp. 1165-1177.
- [5] Harry H. Cheng and Dung T. Trang, 2006, WEB-BASED INTERACTIVE ANALYSIS AND ANIMATION OF MECHANISMS, ASME J. Mechanical Design, Vol.6/89.
- [6] JONATHAN ARSON and HARRY H. CHENG, 2000, OBJECT-ORIENTED CAM DESIGN THROUGH THE INTERNET, Journal of Intelligent Manufacturing, 11, pp. 515-534.
- [7] Mabie Reinholtz, 1996, 機構學, 高立圖書有限公司, 第 4 版, pp. 28-29。
- [8] D. Mundo, J. Y. Liu and H. S. Yan, 2006, OPTIMAL SYNTHESIS OF CAM-LINKAGE MECHANISMS FOR PRECISE PATH GENERATION, ASME J. Mech. Des. Vol. 128 / 1253.
- [9] 江育民與陳世興, 2003, 物流中心與其客戶之資訊整合, 電子商務與數位生活研討會, pp. 2134-2154。
- [10] 吳盈翰, 2002, 以網路運算技術於參數化船型最佳化設計之研究, 國立成功大學, 造船暨船舶機械工程所, pp. 7-39。
- [11] 簡瑞宏, 2003, 四連桿人工膝關節之機構設計與合成, 國立台灣大學機械工程學研究所, pp. 32-60。
- [12] 徐正會, 黎惇強, 2004, 摺疊式輪椅之研發, 第四屆精密機械製造研討會, pp. 4-5。
- [13] 徐正會, 蔡文鈞, 中心臂連桿型轉向機構之設計與分析, 國立臺北科技大學製造科技研究所, pp. 2-4。
- [14] 徐正會, 陳信輝, 2000, 機械式四輪轉向核心系統之研發, 國立臺北科技大學機電整合研究所, pp. 1-6。
- [15] Roman Starosta, 2008, APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM AND FOURIER COEFFICIENTS (GA-FC) IN MECHANISM SYNTHESIS, Journal of Theoretical And Applied Mechanics 46, 2, pp. 395-411.
- [16] 朱琮璋, 2008, 懸臂式擋土牆最佳化設計之研究, 碩士論文, 國立中央大學土木工程學系, pp. 86-95。
- [17] Silvia Mazzeo, Irene Loiseau, 2004, AN ANT COLONY ALGORITHM FOR THE CAPACITATED VEHICLE ROUTING, Electronic Notes in Discrete Mathematics 18, pp. 181-186.
- [18] Pier Giorgio Alotto, Paolo Molfino, and Giorgio Molinari, 2001, A WWW-BASED TOOL FOR THE REMOTE OPTIMIZATION OF ELECTROMAGNETIC DEVICES, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 37.
- [19] 網路教學平台, 電子郵件- POP3 和 SMTP 協定, 網址: <http://chi-yuan.it-study.tw>, 上網日期: 2009-07-16。
- [20] J.H. Holland, 1973, GENETIC ALGORITHMS AND THE OPTIMAL ALLOCATIONS OF TRIALS, SIAM Journal of Computing 2 (2), pp. 88-105.
- [21] Xoops 官方網站, Xoops 概念, 網址: <http://www.xoops.org>, 上網日期: 2009-08-15。
- [22] 黃衍明, 2005, 基因演算法之基本概念、方法與國內相關研究概況, 國立成功大學建築研究所, pp. 10.1-10.10。
- [23] Alden H. Wright. 1991, GENETIC ALGORITHMS FOR REAL PARAMETER OPTIMIZATION, Missoula, Montana 59812, pp. 1-12.
- [24] 吳一潔, 2001, 具雙滾動接觸對平面四桿機構之尺寸合成, 碩士論文, 國立台灣大學機械工程所, pp. 12-44。
- [25] 周鵬程 編著, 2001, 遺傳演算法原理與應用活用 Matlab, 全華科技圖書股份有限公司, 初版一刷, pp. 1.1-4.3。
- [26] 呂旭弘, 2003, 應用感性工學與基因遺傳演算法於產銜造型設計, 碩士論文, 國立成功大學工業設計系, pp. 14-21。