

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

三維複合式平台的設計與探討 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 100-2221-E-034-008-
執行期間：100年08月01日至101年07月31日
執行單位：中國文化大學機械工程學系

計畫主持人：鐘文遠

計畫參與人員：大專生-兼任助理人員：林純歆
大專生-兼任助理人員：陳淑娟
大專生-兼任助理人員：劉政軒

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101 年 10 月 23 日

中文摘要：本計畫對先前提出的複合式平台進行分析與探討。有關以 3 組 S-S 腿所支撐的運動平台，當其上一驅動點的座標為給定時，分別以三種方法分析其構形個數。其中以使用螺旋運動的概念最適合解此問題，求得構形數目的最大值為 8 個。對重複構形出現時，從運動學與幾何的角度加以探討，推導出一個矩陣且其行列式值須為零的特徵。本計畫亦對驅動點於特定平面時繪製構形數目區域圖；於該圖上顯示驅動點位於任何位置時，該複合式平台的構形數目。此外亦發現該複合式平台的某些分析，與球面機構有密切的關係。計畫另一部分探討用兩個自由度的圓柱接頭為驅動裝置之構想，雖可讓姿勢的指定數增為八個，但仍受限於 S-S 支撐腿最多僅可配合七個姿勢。而若姿勢指定數目為七時，其解應於數條曲線上而有無限多個，設計能搭配實際需求作選擇；所舉數值例乃以最佳設計的工具搜尋求解。

中文關鍵詞：複合式平台、構形、重複構形、姿勢

英文摘要：This project focus on the further design and investigation of hybrid platform proposed in previous works. The number of configurations is analyzed for a moving platform being supported by three S-S legs and the position of an actuated point on the platform being specified. This problem was solved by using three different methods. The results show that the concept of screw motion is the most effective one for analyzing the configurations. The maximum number of configurations is eight. The occurrence of double configurations is investigated on the basis of kinematics and geometry. A matrix is thus derived and its determinant being zero represents the occurrence. The map that shows the number of configuration is also constructed for the actuated point being on a specified plane. It is also found that the configuration analysis of this hybrid platform is closely related to that of spherical mechanism. On the other hand, the actuated unit being replaced by a cylindrical joint with 2 DOF is attempted. Although the maximum number of assigned

poses becomes eight, the S-S leg can only match at most seven assigned poses. If seven poses are assigned, the set of solutions should be several curves and numerous points can be selected to design the cylindrical joint. A numerical example is given to illustrate the synthesis of cylindrical joint with the aid of optimization.

英文關鍵詞： hybrid platform, configuration, double configuration, poses

摘要 (三維複合式平台的設計與探討)

本計畫對先前提出的複合式平台進行分析與探討。有關以 3 組 S-S 腿所支撐的運動平台，當其上一驅動點的座標為給定時，分別以三種方法分析其構形個數。其中以使用螺旋運動的概念最適合解此問題，求得構形數目的最大值為 8 個。對重複構形出現時，從運動學與幾何的角度加以探討，推導出一個矩陣且其行列式值須為零的特徵。本計畫亦對驅動點於特定平面時繪製構形數目區域圖；於該圖上顯示驅動點位於任何位置時，該複合式平台的構形數目。此外亦發現該複合式平台的某些分析，與球面機構有密切的關係。計畫另一部分探討用兩個自由度的圓柱接頭為驅動裝置之構想，雖可讓姿勢的指定數增為八個，但仍受限於 S-S 支撐腿最多僅可配合七個姿勢。而若姿勢指定數目為七時，其解應於數條曲線上而有無限多個，設計能搭配實際需求作選擇；所舉數值例乃以最佳設計的工具搜尋求解。

關鍵詞: 複合式平台、構形、重複構形、姿勢

Abstract (The design and study of 3D hybrid platform)

This project focus on the further design and investigation of hybrid platform proposed in previous works. The number of configurations is analyzed for a moving platform being supported by three S-S legs and the position of an actuated point on the platform being specified. This problem was solved by using three different methods. The results show that the concept of screw motion is the most effective one for analyzing the configurations. The maximum number of configurations is eight. The occurrence of double configurations is investigated on the basis of kinematics and geometry. A matrix is thus derived and its determinant being zero represents the occurrence. The map that shows the number of configuration is also constructed for the actuated point being on a specified plane. It is also found that the configuration analysis of this hybrid platform is closely related to that of spherical mechanism. On the other hand, the actuated unit being replaced by a cylindrical joint with 2 DOF is attempted. Although the maximum number of assigned poses becomes eight, the S-S leg can only match at most seven assigned poses. If seven poses are assigned, the set of solutions should be several curves and numerous points can be selected to design the cylindrical joint. A numerical example is given to illustrate the synthesis of cylindrical joint with the aid of optimization.

Keywords: hybrid platform, configuration, double configuration, poses

一 前言及文獻探討

為了達成諸如路徑演生及物體導引等運動需求，使用的機構最初以連桿組為主。隨著機電伺服系統及電腦控制的發展，近來多使用串聯式機械臂以及平行式運動平台等。以下略述各類機構及其優缺點。

連桿組機構的發展已有相當久的歷史[Beyer, 1963]，機構的合成可用製圖法[Tao, 1964]及數值法[Suh and Radcliffe 1978]以求得桿長、座標及相關資訊。此外連桿機構亦可由運動特性，區分為平面[蔣君宏, 2002]、球面[Chiang, 1988]及空間連桿機構[Hunt, 1978]等。平面連桿機構雖然物體僅能做平面運動，但其研究及應用截至最近仍非常廣泛，如導引耦桿點陸續通過指定點的路徑演生 [Laribi, Mlika, Romdhane, and Zeghloul., 2004; Lin, 2010; Shiakolas, Koladiya and Kebrle, 2005; Zhou, 2009; Yu, Tang and Wang, 2007; Zhou and Ting, 2002; Peng and Sodhi, 2010; Zhou and Cheung, 2004]，如設計連桿組以使耦桿運動至指定位置及方位的物體導引[Gatti and Mundo, 2007; Chen and Angeles, 2008; Myszkka and Murray, 2010; Soh and McCarthy, 2008]，其他應用如 [徐正會, 2007; 洪芝青, 顏鴻森, 劉念德, 2007; Dong and Wang, 2007; Soh and McCarthy, 2007; Haulin, Lakis and Vinet, 2001; Xu, Lewis, Bronlund and Morgenstern, 2008; Dado, 2005]。至於空間連桿，其應用如太陽能架[Comsit and Visa, 2007]及物體導引[Russel and Sodhi, 2001; Russel and Sodhi, 2002; Russell, Lee and Sodhi, 2007; Shih and Yan, 2002]等；由於需先選定某一特定空間連桿組，再以數值法求出桿長及相關座標；因而在設計及應用方面，難度頗高且受到相當的限制，相關文獻的數量亦遠少於平面連桿組。

串聯式機械臂多應用於生產線上，諸如 PUMA560 及 Fanuc S-900W 等[Craig, 2005; Tsai, 1999]。若應用於如汽車製造等產業，以使用俱有五個或六個自由度的機械臂[Tsai and Morgan, 1985]為主。至於電子產業，由於動作較簡單，大多使用如 SCARA 等俱較少自由度的機械臂[Davis and Hofmeister, 1997; Genov G. et al., 2000]。串聯式機械臂雖俱多自由度，而能執行靈巧的搬運工作；但由於眾多驅動器的配置、動力傳輸方式、複雜的控制系統軟硬體 .. 等因素，造成其採購成本昂貴，且多高於百萬台幣以上，另外亦難以由使用者自行維修。

平行式運動平台，其平台連結有數個並列的支撐腿，並由其所支撐。最初由 Stewart 所提出[Stewart, 1963]，俱有六個自由度，可應用於飛行模擬訓練器等。之後便陸續發展出具較低自由度的平行式運動平台，如僅具四個自由度[Jaime, Jose and Alici, 2006]或三個平移自由度的 DELTA 平台[Laribi, Romdhane and Zeghloul, 2007]。該類平行式運動平台，雖能靈巧運動，但可達區間不大；為此，有雙組機器人的提出[Xi, Xu and Xiong, 2006]。另外，亦有針對平面需求而發展的俱三個自由度 [Li, Gosselin and Richard, 2006; Chung, 2005]或兩個自由度[Liu, Wang and Pritschow, 2006] 的平台。然而平行式運動平台，因俱有多個驅動器，同樣有系統複雜、成本高及難以自行維修等困擾。

綜合三類機構的主要優缺點，可看出平面機構的應用已有許久歷史，而其設計合成的方法與理論已相當完備，惟其缺點為僅適於平面運動。而空間機械臂及運動平台，雖具多個驅動器與自由度以執行空間運動，但也造成系統複雜、價昂及高維護開支。先前計劃提出具低自由度的複合式平台，其驅動器可設於支撐腿在基座端的接頭處，或用平面機構以驅動該空間運動平台，其優點為可善用平面機構的完備合成方法。前述兩種驅動方式，皆已驗證可順利執行三維空間運動。由於驅動器數量少、系統簡單、成本低且易維修，且該複合式平台可因應空間的運動需求，故具有相對的優勢。本計劃將延續先前的研究及成果，探討之前碰到的問題，如機構的構形問題，包括構形數目的推估與各種構形的計算。另外，設法擴大該複合式平台的應用面，如使用雙桿或具雙自由度的支撐腿，並輔以最佳化搜尋工具，以使複合式平台可符合較多姿勢或位置的指定。

二 研究方法及成果

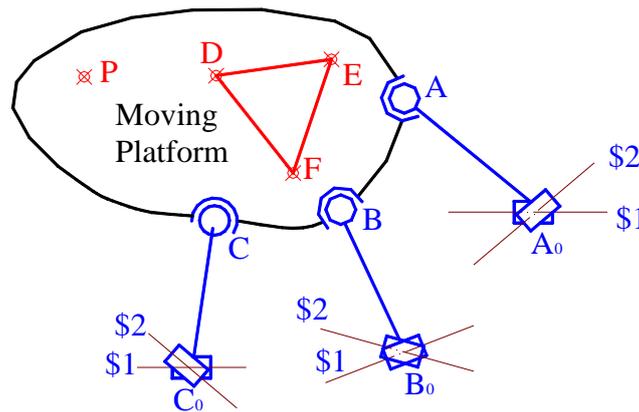
一般機器平台皆以多個自由度為主[Tsai, 1999; Merlet, 2006]，以使平台可運動至任何位置與方位。近年研究計畫則著重於讓整個系統僅具一個自由度[鐘文遠 2009, 2010b 及

2010c]，或使用平面機構為驅動單元[鐘文遠 2010a]。本計畫著重於兩部分，一為當系統的驅動器到達定位時，分析該運動平台的構形數目；以及構形數目增減時，亦即產生重複構形或重根時，探討其幾何與數學上的特徵。另一為當驅動器數目變為二個時，運動平台可到達的姿勢或精確點數目，應該適度增加，將對此類問題進行合成的嘗試與探討。

1. 構形數目的探討:

有關構形數目的探討，比較複雜的如 Stewart-Gough 平台，其複雜度高且有高達 40 組解[Raghavan, 1993; Tsai, 1999]。於是有諸多研究提出特別的 Stewart-Gough 平台，雖然自由度可能下降，但組解皆大幅降低[Chen and Song, 1994; Husain and Waldron, 1994; Lin, Crane and Duffy, 1994; Tsai, Walsh and Stamper, 1996; Tavolieri, Ottaviano and Ceccarelli, 2006; Pierrot et al., 2009]，該等文獻採用的數學方法可為推導時的主要參考。

如圖一所示之機構，一空間運動平台以三組支撐腿與固定座連接。各組支撐腿各有如 A、B 及 C 處的球接頭或 S 接頭，以及如 A₀、B₀ 及 C₀ 處的 U 接頭。該機構共有平台及三組支撐腿共四個運動件；各球接頭及 U 接頭分別為三個拘束及四個拘束；若計算該機構的自由度，則為 $6 \cdot 4 - 3 \cdot 3 - 3 \cdot 4 = 3$ 。另外，若平台上的 P 點位置亦指定，將使機構再減少 3 個自由度，成為無自由度的結構；亦即該機構將停駐於特定位置及方位。於先前計畫及研究中，以讓平台依序經過幾個特定姿勢(包括位置與方位)為目的，著重於 P 點的選取與三組支撐腿的合成設計。其中若 P 點為由平面機構所帶動，則最多可指定六組姿勢。然而當 P 點指定時，圖一之機構應有不少構形，相關分析於下敘述。



圖一：機構示意圖

圖一中的 P 點位置確定後，該複合式平台的自由度為 0，因此 A、B 及 C 三點的位置應可解出。當點 P、A₀、B₀ 和 C₀ 的座標為已知，基於 P-A-A₀，可列出

$$|P - A| = L_{PA} \quad (1)$$

$$|A_0 - A| = L_{A_0A} \quad (2)$$

其中如 L_{PA} 為運動平台上，點 P 到點 A 的距離。由於假設運動平台為剛體，因此 L_{PA} 為已知的不變常數。同理， L_{A_0A} 亦為已知的常數。式(1)及式(2)可視為為兩個球面的交集，幾何上為一個圓，數學上可視為一次方程式及二次方程式各一個。相同的，從 P-B-B₀ 及 P-C-C₀ 亦可得到相類似的方程式。另外於運動平台上，A、B 及 C 三點間的距離亦為固定，因此可寫成

$$|A - B| = L_{AB} \quad (3)$$

$$|B - C| = L_{BC} \quad (4)$$

$$|C - A| = L_{CA} \quad (5)$$

綜上所述，可得 9 個方程式，其中一次的有三個，其餘六個為二次，因此最多有 64 組解。

以上為僅使用 Bezout number 加以解析。現使用乘積分解(product decomposition) 與多齊

次方程 Bezout 數 (multihomogeneous Bezout number) [Wampler, 1996; 鐘文遠&簡妥芸, 2006], 以研判其解的數目。如上述, 未知數為 A、B 及 C 三點的座標, 將式(1)與式(2)相減, 可得僅含 A 點座標的一次方程, 設為 $g_1 = 0$ 。若 A 點座標以 (A_x, A_y, A_z) 表示, 則可得如下的一次方程式

$$g_1 = pA_x + qA_y + rA_z + s = 0 \quad (6)$$

而如式(1)或式(2)的二次方程可假想能分解為

$$g_2 \cdot h_2 = 0 \quad (7)$$

其中 g_2 或 h_2 的型態皆為如式(7)的一次方程式。

由於式(3)並無如 $A_x A_y$ 、 $A_y A_z$ 或 $A_z A_x$ 等二次項, 可假想將式(3)分解為由兩個一次方程相乘, 如式(8)所示

$$g_3(A_x, A_y, A_z) \cdot h_3(B_x, B_y, B_z) = 0 \quad (8)$$

同理可將式(4)及式(5)分解為

$$g_4(B_x, B_y, B_z) \cdot h_4(C_x, C_y, C_z) = 0 \quad (9)$$

$$g_5(A_x, A_y, A_z) \cdot h_5(C_x, C_y, C_z) = 0 \quad (10)$$

利用乘積分解的方法, 主要為選擇數個一次方程式以解相同個數的未知數。例如若選擇 $g_1 = 0$ 、 $g_2 = 0$ 及 $g_3 = 0$ 以解出 A 點座標 (A_x, A_y, A_z) 。C 點座標可由 $h_5 = 0$ 搭配如 $g_1 = 0$ 及如式(7)的 $g_2 = 0$ 或 $h_2 = 0$, 共有兩種可能。相同的, B 點座標可由 $g_4 = 0$ 搭配如 $g_1 = 0$ 及如式(7)的 $g_2 = 0$ 或 $h_2 = 0$, 亦有兩種可能。因此共有 $2 \cdot 2 = 4$ 種可能。

由於解 A 點座標時, 可選擇用 $g_2 = 0$ 或 $h_2 = 0$, 搭配選擇 $g_3 = 0$ 或 $g_5 = 0$; 因此共得四種選擇。如上段所述, 在每種選擇中, 可有四種選擇以解點 B 及點 C 的座標; 因此如上述式(1)~(5) 九個式子中, 最多應僅有 $4 \cdot 4 = 16$ 個解。

如圖一的運動平台, 由於 P 點為固定, 因此平台上餘有三個旋轉自由度。於[Suh and Radcliffe, 1978] 之 3.3 節中, 述及一物體若沿著某一單位向量 $\mathbf{u}[u_x, u_y, u_z]$ 旋轉一角度 ϕ , 則該旋轉矩陣可表示為

$$[\mathbf{R}_{\phi, \mathbf{u}}] = \begin{bmatrix} u_x^2 V\phi + C\phi & u_x u_y V\phi - u_z S\phi & u_x u_z V\phi + u_y S\phi \\ u_x u_y V\phi + u_z S\phi & u_y^2 V\phi + C\phi & u_y u_z V\phi - u_x S\phi \\ u_x u_z V\phi - u_y S\phi & u_y u_z V\phi + u_x S\phi & u_z^2 V\phi + C\phi \end{bmatrix} \quad (11)$$

其中 $V\phi = 1 - \cos\phi$, $S\phi = \sin\phi$ 以及 $C\phi = \cos\phi$ 。若設 $s_1 = u_x \tan(\phi/2)$, $s_2 = u_y \tan(\phi/2)$ 以及 $s_3 = u_z \tan(\phi/2)$; 且基於 $\cos\phi = (1 - \tan^2(\phi/2)) / (1 + \tan^2(\phi/2))$ 和 $\sin\phi = 2 \tan(\phi/2) / (1 + \tan^2(\phi/2))$ 則式(11)可改寫成

$$[\mathbf{R}_{\phi, \mathbf{u}}] = \frac{1}{1 + s_1^2 + s_2^2 + s_3^2} \begin{bmatrix} 1 + s_1^2 - s_2^2 - s_3^2 & 2(s_1 s_2 - s_3) & 2(s_1 s_3 + s_2) \\ 2(s_1 s_2 + s_3) & 1 - s_1^2 + s_2^2 - s_3^2 & 2(s_2 s_3 - s_1) \\ 2(s_1 s_3 - s_2) & 2(s_2 s_3 + s_1) & 1 - s_1^2 - s_2^2 + s_3^2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

設運動平台上有一座標系, 且 A、B、C 及 P 四點相對於該座標系的座標分別以 ${}^P\mathbf{A}$, ${}^P\mathbf{B}$, ${}^P\mathbf{C}$ 及 ${}^P\mathbf{P}$ 表示。該四點相對於固定座標系以 ${}^o\mathbf{A}$, ${}^o\mathbf{B}$, ${}^o\mathbf{C}$ 及 ${}^o\mathbf{P}$ 表示, 則

$$\begin{aligned}
{}^0\mathbf{A} &= [\mathbf{R}_{\phi,u}] \left({}^p\mathbf{A} - {}^p\mathbf{P} \right) + {}^0\mathbf{P} \\
{}^0\mathbf{B} &= [\mathbf{R}_{\phi,u}] \left({}^p\mathbf{B} - {}^p\mathbf{P} \right) + {}^0\mathbf{P} \\
{}^0\mathbf{C} &= [\mathbf{R}_{\phi,u}] \left({}^p\mathbf{C} - {}^p\mathbf{P} \right) + {}^0\mathbf{P}
\end{aligned} \tag{13}$$

將此三點代入如式(2)的長度方程式，以桿長 $|A_o - A| = L_{A_oA}$ 為例，則可寫成

$$({}^0\mathbf{A}_o - {}^0\mathbf{A})^T ({}^0\mathbf{A}_o - {}^0\mathbf{A}) = L_{A_oA}^2 \tag{14}$$

代入式(13)，由於 $[\mathbf{R}_{\phi,u}]^T [\mathbf{R}_{\phi,u}] = \mathbf{I}$ ，整理可得

$$2({}^p\mathbf{A} - {}^p\mathbf{P})^T [\mathbf{R}_{\phi,u}]^T ({}^0\mathbf{A}_o - {}^0\mathbf{P}) = L_{A_oA}^2 - |{}^0\mathbf{A}_o - {}^0\mathbf{P}|^2 - |{}^p\mathbf{A} - {}^p\mathbf{P}|^2 \tag{15}$$

該式右側皆為已知的幾何數據。左側含有二次的 s_i ($i=1\sim3$) 等三個未知數。因此式(15)為以 s_i ($i=1\sim3$) 為未知數的二次方程式。另二隻支撐腿，亦可寫出兩個類似方程式。將該三個方程式聯立求解，最多共有八個解。

例題一：移動平台上有 A、B、C 及 P 四點，對應於設在移動平台上的座標系，其座標如表一所示。三組 S-S 支撐腿的數據如表二所示。若 P 點被驅動至 ${}^0\mathbf{P}: [2, 35, 75]$ ，求如圖一所示機構的所有可能姿勢。

表一：A、B、C 及 P 等四點於移動平台上的座標

	x	y	z
A	0	0	0
B	30	0	0
C	27	23	0
P	20	8	40

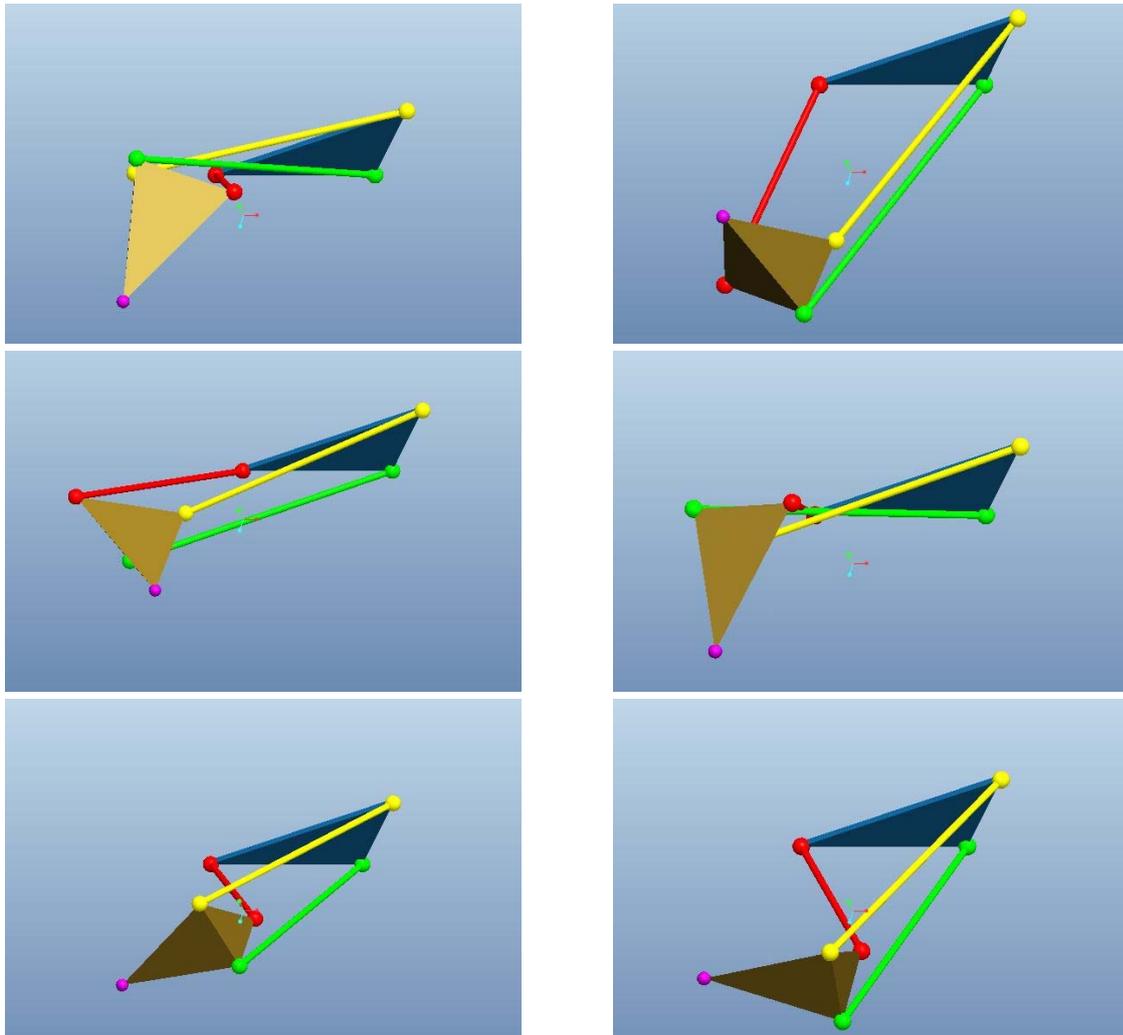
表二：三組 S-S 連桿的數據

	固定於基座的球心座標	連桿長度
連桿 $A_o - A$	${}^0A_o: [0.0, 0.0, 0.0]$	$ A_oA =68$
連桿 $B_o - B$	${}^0B_o: [50.0, 0.0, 0]$	$ B_oB =86$
連桿 $C_o - C$	${}^0C_o: [70.0, 30.0, 0]$	$ C_oC =81$

解：由表一及表二的運動數據，可推得三個如式(15)的方程式，將其聯立求解，共可得八組解。其中有六組為實數解，A、B 及 C 三點相對於固定座標系之座標列示於表三。求得的複合式平台亦以 3D 設計軟體加以建構及組裝，對應的六個構形皆示於圖二。圖中藍色三角形為基座，紫色點為驅動點。

表三：A、B 及 C 三點於六個構形對應於基座的座標

姿勢	${}^0\mathbf{A}$			${}^0\mathbf{B}$			${}^0\mathbf{C}$		
1	31.0931	44.1506	41.3272	6.1627	60.8185	42.1355	-3.2034	41.8734	32.5773
2	-13.5077	-6.8062	66.2964	14.0763	-5.1166	77.9699	19.7222	0.3009	56.1348
3	-30.2281	42.3056	43.8235	-20.8395	13.9603	46.7212	-3.0106	21.7498	34.0937
4	20.6254	52.7893	37.5750	-9.2348	49.9036	37.3747	-4.0511	27.7738	32.7488
5	37.4852	32.1022	46.7794	43.1931	43.1418	74.0841	33.9943	62.3697	64.9368
6	38.3502	19.2766	52.7416	42.0585	24.5270	82.0449	43.7324	46.5055	74.8237



圖二: 例題一解出的六個構形

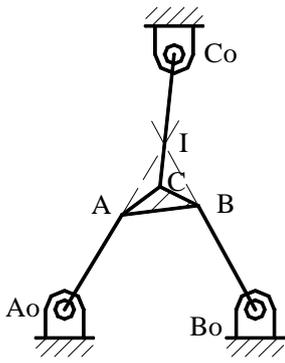
以上為針對已知 P 點的座標，求其可能的 8 個構形。由於圖一的機構於先前研究中，P 點由平面機構驅動，所以下述將假設 P 點在一已知平面上，推導 P 點之工作區域。該區域又可因分枝數(batches)或如前述構形數之不同，而可區分為各個小區域，因此對於分割各個小區域的界線，其幾何上與運動學上所代表的意義亦將加以探討。

對於工作區域的推導，可將圖一的機構視為三組獨立的雙軸機械臂，也就是 A_0-A-P 、 B_0-B-P 及 C_0-C-P 。每組機械臂上的 P 點之可到空間或工作區域為一個空心球體。以機械臂 A_0-A-P 為例，球心為 A_0 ，球體的外圍半徑為 $L_{PA} + L_{A_0A}$ ，內部空心部份的半徑為 $|L_{PA} - L_{A_0A}|$ 。該空心球體與 P 點所在平面的交集可為一圓或環。將三組機械臂分別解析，取其交集，則為 P 點之可達的工作區域。

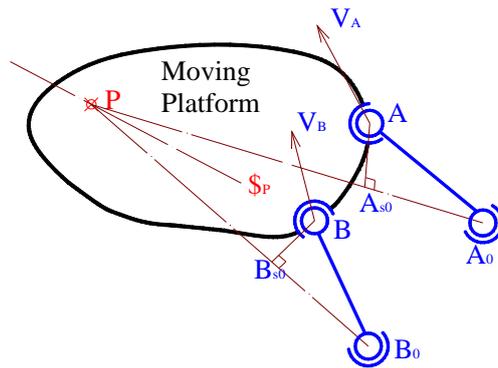
當構形數目產生變化時，通常代表著重根的現象產生。若以圖三的四連桿組 A_0ABB_0 為例，分析該連桿組的位置時，主要步驟為兩圓相交，故有兩個解或兩組構形。但當轉到如 A、B、及 B_0 三點成一直線時，此時兩圓相切，兩個解重疊為重根，達到所謂極限位置(limiting position)。之後兩圓便無交點，亦即連桿組無法組合。

現再以圖三的 Assur 五連桿組加以解說，其中 C 點須在四連桿組 A_0ABB_0 上的耦桿點曲線上，亦須在桿 C_0C 所衍生的圓上，兩者的交點最多可有六組解。但圖三的特殊處在於 C、I、及 C_0 三點成一直線。其中 I 點以四連桿組 A_0ABB_0 而言，為耦桿的瞬間旋轉中心，C 點的耦桿點曲線的一小段應與直線 IC 垂直，或者 C 點的速度 V_C 應垂直於直線 IC。此外桿 C_0C

所衍生的圓弧亦與 IC 垂直。因此耦桿點曲線與圓在此相切，而有重根構形出現；或者速度的方向相吻合。



圖三: Assur 五連桿組的重根構形



圖四: 具雙 S-S 機構的運動分析

基於上述對平面機構的討論，可將其應用以分析圖一之機構的構形數變化。若將圖一的 C_0 -C 暫時拆除，可得如圖四的機構，其中 P、 A_0 、及 B_0 三點皆為固定點。A 點的可能所在的集合為一個圓，其圓心為如圖上的 A_{s0} 。此外 V_A 表示 A 點的速度，其方向必與 P、 A_0 、及 A 三點所在的平面垂直；或者說其方向平行於 $\overrightarrow{PA_0} \times \overrightarrow{PA}$ 。相同的，B 點亦在以 B_{s0} 為圓心的圓上，其速度 V_B 的方向平行於 $\overrightarrow{PB_0} \times \overrightarrow{PB}$ 。由於 P、A、及 B 三點同在移動平台上，於此瞬間該平台的運動為繞著一軸線做旋轉，該軸線如圖中的 S_p ，須通過已知的固定點 P；且其方向須與 V_A 及 V_B 皆垂直。亦即 S_p 為沿著 $(\overrightarrow{PA_0} \times \overrightarrow{PA}) \times (\overrightarrow{PB_0} \times \overrightarrow{PB})$ 的方向。

軸線 S_p 有如圖三中的瞬心 I 點。若欲讓圖一的 C 點有如圖三中的重根或相切的特性，可以前述之速度方向相吻合為分析策略。圖四的平台繞著軸線 S_p 做旋轉，所以 V_C 的方向為垂直於 $(\overrightarrow{PA_0} \times \overrightarrow{PA}) \times (\overrightarrow{PB_0} \times \overrightarrow{PB})$ 。再由 P、 C_0 、及 C 三點作分析， V_C 的方向平行於 $\overrightarrow{PC_0} \times \overrightarrow{PC}$ 。因此當速度方向吻合或有重複構形發生時，須符合的特性為 S_p 與 $\overrightarrow{PC_0} \times \overrightarrow{PC}$ 垂直，可用內積運算表示如下

$$(\overrightarrow{PC_0} \times \overrightarrow{PC}) \cdot ((\overrightarrow{PA_0} \times \overrightarrow{PA}) \times (\overrightarrow{PB_0} \times \overrightarrow{PB})) = 0 \quad (16)$$

或者

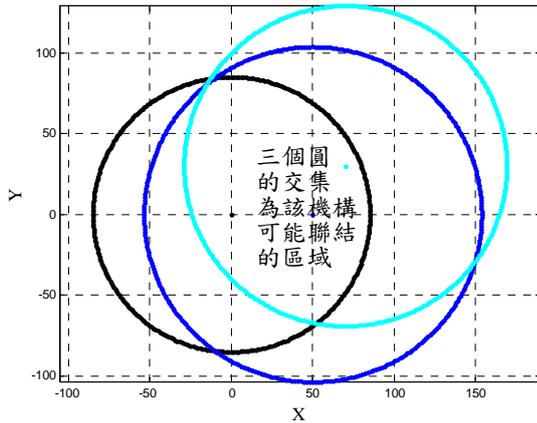
$$\begin{vmatrix} \overrightarrow{PC_0} \times \overrightarrow{PC} \\ \overrightarrow{PA_0} \times \overrightarrow{PA} \\ \overrightarrow{PB_0} \times \overrightarrow{PB} \end{vmatrix} = 0 \quad (17)$$

例題二: 機構如圖一所示，平台尺寸與三組 S-S 支撐腿的數據如例題一所列。問題一: 對於 P 點於 $z=75$ 的平面上運動時，對其構形數目做分析，並繪製構形區域圖。問題二: 對於 P 點於 $y=35$ 及 $z=75$ 的直線上運動時，觀察分析各構形分支的變化。

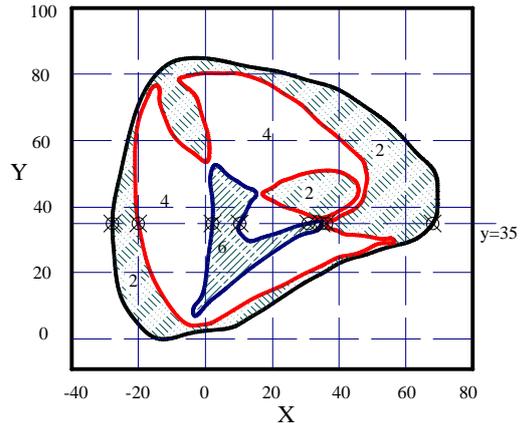
解: 問題一: 第一階段為做三組機械臂可到達的圓或環，取其交集，如圖五所示，代表 P 點可能到達的工作區域，或該機構可能聯結的區域。

第二階段為繪製構形區域圖。上述區域中除了機構無法聯結外，最多另有四個區域，分別代表其構形數目為 2、4、6 及 8。對於各點所代表的構形數目可如例題一的方式求得。各區域間的界線代表式(16)或(17)成立；由於欲求得符合此二式的 P 點座標誠屬不易，因此藉由如最佳化設計(optimization)的數值分析工具，零星求得符合的各個點，再將各點連成曲線。基於此二類程序所得的結果，可約略繪製如圖六的構形區域圖。標示” 2” 的剖面區有兩處，代表

構形數目為 2。其餘類推。另外，當 P 點於 $z=75$ 的平面上，並未找到有 8 個構形的實例。

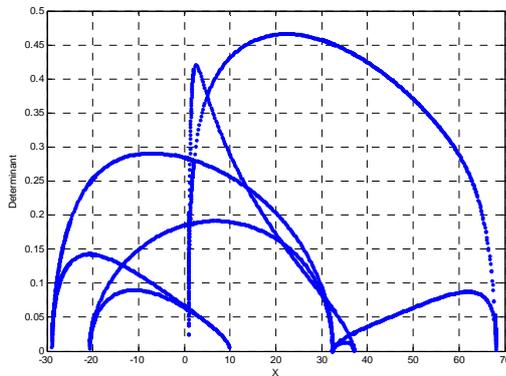


圖五: 機構可能聯結的區域

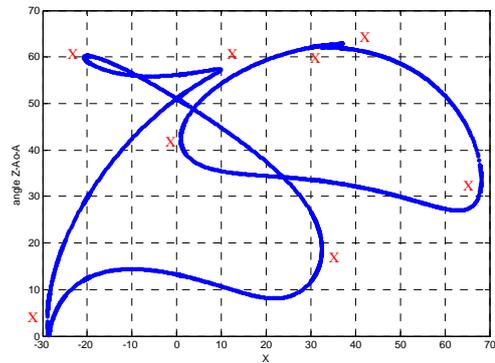


圖六: 機構的構形數目區域圖

問題二: 當 $y=35$, 如圖六所式, 於 $x=-40$ 處機構無法聯結。當其值增加至約 -29.0 時, 有重根出現, 之後便有 2 組構形。若再做詳細分析, 將式(17)中的三個向量皆以單位向量代入, 以行列式的值作圖, 可得如圖七的結果。其中有八處行列式值為零, 分別在 x 值約為 -29.0 、 -20.8 、 0.8 、 9.8 、 32.3 、 32.4 、 37.0 及 68.1 處。詳言之, x 於 $[0.8, 9.8]$ 間及 $[32.3, 32.4]$ 間有六組構形, 於 $[-29.0, -20.8]$ 及 $[37.0, 68.1]$ 間有二組構形, 小於 -29.0 及大於 68.1 則機構無法聯結; 其餘區域有四個構形。另外, 將桿件 A-Ao 與固定坐標系的 Z 軸間的夾角作分析, 可得如圖八的結果, 以紅色 "x" 標示處即為重根所在; 可看出共有八處, 且與前述圖七中行列式值為零的八個 x 值完全相符對應。

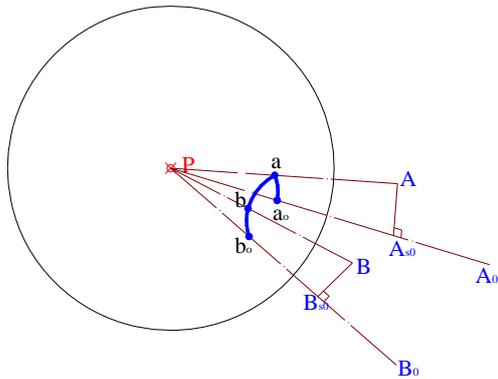


圖七: 行列式值的變化

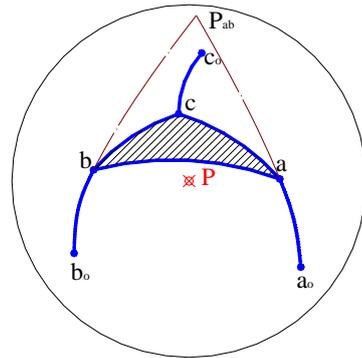


圖八: 桿件 A-Ao 與 Z 軸間的夾角

另如圖四所描述, P 為固定點, A 點及 B 點的可能所在的集合皆為一個圓, 因此不難聯想其與球面機構[Chiang, 1988]有密切關係。如圖九所示, 前述 P 點可為球面機構的球心。若將 A_0 、 A 、 B 及 B_0 與 P 點的連線分別與球面交於 a_0 、 a 、 b 及 b_0 , 則可得一個對應類比的球面四連桿組 a_0abb_0 。現若將桿 C_0 -C 列入考慮, 可得如圖十的 c_0 與 c ; 因此形成一組類比的 Assur 球面五連桿組。若討論如例題一的位置分析或構形數目, 可將 c 點視為四連桿組 a_0abb_0 的耦桿點, 接著可推得耦桿點曲線。此外 c 點在一個圓上, 若基於該圓與前述耦桿點曲線的交點, 可進而求得如例題一的表三的結果。當然, 交點數目的最大值, 即代表構形數目的最大值。再如圖三的重根分析, 於此亦有類似特性。球心 P、 a_0 及 a 定義一大圓, 與 P、 b 及 b_0 所在的大圓相交於 P_{ab} ; 此點如同圖三的極心 P 點。而圖四的軸線 S_p 則可對應類比於 P_{ab} 與球心 P 的連線。再如式(16)及(17)所代表的特性, 若以圖十的球面機構解釋, 則為 c_0 及 c 與 P_{ab} 等三點能在同一個大圓上。



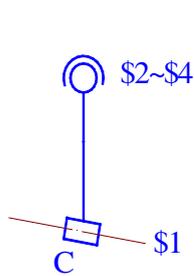
圖九: 球面機構的對應類比



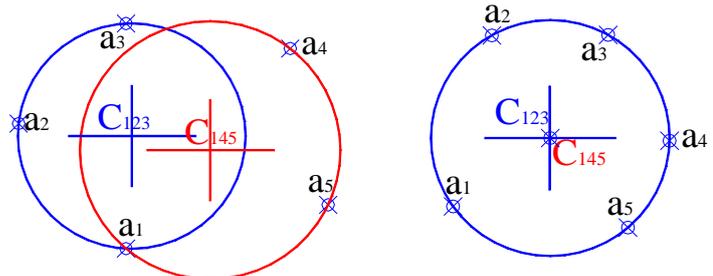
圖十: 球面五連桿組

2. 雙自由度支撐腿的應用

如圖一所示的複合式平台，支撐腿皆為為 S-U 或 S-S。此節探討若將圖一的 A_0 及 B_0 皆換為如圖十一的 C 接頭，於合成複合式平台，最多可指定的姿勢個數及相關的合成程序。如先前對圖一所示機構的研究， A_0 使用 S 接頭時，可指定 7 個姿勢。其解釋方式可為移動平台上的一點 A 可用三個座標表示；描述一個球共有四個變數，如球心座標及球半徑。因此該問題共有七個變數。接著對每個指定姿勢，可推得 A 的座標，寫出一個球面方程式。當指定 7 個姿勢時，恰能以七個方程式，聯立求解前述七個變數。對於描述一個圓柱面有多種方法，須要的變數個數為五個，因此若套用前述分析，最多可指定的姿勢個數則變為八個。



圖十一: S-C 支撐腿



(a)

(b)

圖十二: 五點 A_i 於平面的投影 a_i

使用 S 接頭時，於合成程序中，理論上可對七個球面方程式聯立求解，但其複雜度頗高。因而在先前的研究中，採用中垂面的概念，以得共球面的曲面、曲線或點。然此概念卻不能應用在圓柱面上。本研究乃假想有一通過原點的平面，該平面與圓柱面的軸線垂直；且其單位法向量可由兩個如經緯度的變數 u 和 v 表示，例如可寫成

$$\mathbf{v}_n = [-\cos(u)\sin(v) \quad -\sin(u)\sin(v) \quad \cos(v)] \quad (18)$$

在平面上可定義兩個與 \mathbf{v}_n 垂直的單位向量 $[\cos(u)\cos(v) \quad \sin(u)\cos(v) \quad \sin(v)]$ 及 $[\sin(u) \quad -\cos(u) \quad 0]$ 。假設 A_i 點的座標為已知，便可投影至該平面。如圖十二(a)所示，五個投影點以 a_i 表示，每三個點可決定一個圓，如 $i=1\sim 3$ 及 $i=1,4,5$ 。當此二圓的圓心共點時，則有如圖十二(b)中所示的五個點共圓的狀況。此時由式(18)表示的單位向量即為 C 接頭的軸線方向，而該圓心則為 C 接頭軸線上的一點。

至於解問題時，乃採用最佳設計的方法。以 u 及 v 和點 A 於移動平台上座標 (x_A, y_A, z_A) 為搜尋時的變數。對於前述任一組五個變數的組合，可得如圖十二(a)的投影結果。於投影面上，計算 a_1 、 a_2 及 a_3 的圓心，設為 C_{123} ；另計算 a_1 、 a_4 及 a_5 的圓心，設為 C_{145} 。目標函數則定義為兩圓心的距離，當目標函數值為零時，即表示尋得如圓柱面軸線等相關數據。若指定的姿

勢增加到七個時，則目標函數的定義可調整為

$$f(u, v, x_A, y_A, z_A) = |C_{123}C_{145}|^2 + |C_{123}C_{167}|^2 \quad (19)$$

當目標函數值為零時，代表三個圓心點共圓。由於三個圓皆經過點 a_1 ，所以三個圓的半徑亦相同，亦即此三圓完全重疊，或 a_i ($i=1\sim7$) 共圓。

例題三：指定運動的七個姿勢如表四所列。於運動平台上選擇一點 A ，該點於對應的七個姿勢 A_i ($i=1\sim7$) 須在一個圓柱上。

表四：七個姿勢的運動數據

姿勢	平移			旋轉		
	x	y	z	R_x (deg)	R_y (deg)	R_z (deg)
1	-1	5	3	-94	-20	5
2	-1.5	5.2	3	-98	-17	8
3	-2.5	5.5	3	-102	-14	15
4	-3.5	5.8	3	-106	-11	22
5	-4	6	3	-110	-8	25
6	-4.5	6.1	3	-114	-5	28
7	-5	6.3	3	-118	-2	31

解：1. 於本例中的初始值設為 $(u, v, x_A, y_A, z_A) = (-5.0 \ -2.0 \ 1.0 \ 10.0 \ 20.0)$ 。

2. 目標函數調整為

$$f(u, v, x_A, y_A, z_A) = |C_{123}C_{145}|^2 + |C_{123}C_{167}|^2 + |C_{145}C_{167}|^2$$

3. 經由最佳設計的程式搜尋後，五個變數為 $(-4.47833, 6.66472, -6.03396, 29.26567, 19.63859)$

4. 此外， $(3.45068, 6.44150, 2.19788)$ 為圓柱中心軸線上的一點，中心軸線的單位向量為 $(-0.29319, -0.16430, 0.94183)$ ；圓柱的半徑為 1.1947。

5. 點 $A: (-6.03396, 29.26567, 19.63859)$ 於七個姿勢時，對應於基座或固定坐標系的座標如表五所示。

表五：點 A 於七個姿勢時的座標

姿勢	座標
1	(6.31180, 6.84549, -3.63434)
2	(6.25786, 6.94414, -3.13647)
3	(6.02157, 7.11619, -2.06492)
4	(5.66163, 7.13122, -0.89553)
5	(5.46283, 6.88240, -0.24945)
6	(5.20034, 6.45485, 0.41928)
7	(4.86071, 6.05715, 1.10524)

依前述分析，指定姿勢的最大值可為八個，如例題三指定姿勢為七個時，其解的數目有無限多個。詳言之，於運動物體上存在著一條或數條曲線，其上的任何點對應於指定的姿勢，該七個點可在一個圓柱上。當指定姿勢增為八個時，便僅存在著有限數目的點可符合要求，目標函數的定義可調整為如

$$f(u, v, x_A, y_A, z_A) = |C_{123}C_{145}|^2 + |C_{123}C_{167}|^2 + |C_{123}C_{178}|^2 \quad (20)$$

三 討論

本計畫對先前提出的複合式平台進行分析與探討。有關以 3 組 S-S 腿所支撐的運動平台，當其上一驅動點的座標為給定時，分別以三種方法分析其構形個數。其中以使用螺旋運動的概念最為適合解此問題，求得構形數目的最大值為 8 個。對重複構形出現時，亦探討其運動學的特徵並推導相關方程式。此外，並進而對上述驅動點於特定平面時繪製構形數目區域圖；於該圖上可顯示驅動點位於任何位置時，該複合式平台的構形數目。另一方面，亦發現該複合式平台的某些分析，與球面機構有密切的關係。

若前述驅動點由平面機構所驅動時，基於共平面的特性下，運動平台最多僅能被依序導引至六個姿勢。若以具兩個自由度的 U 接頭為驅動裝置，基於共球面的特性，導引姿勢的個數可增為七個；然而接頭僅能於安裝於特定的幾個點，於設計上幾乎沒有選擇空間。因此，若欲導引的姿勢數目為六個以上時，驅動器的數目應以兩個為宜。如本計畫第二部分探討的圓柱接頭，可讓姿勢的指定數增為八個；若數目為七時，如數值例所示，仍存在無限個解；換言之，驅動點仍可於數條曲線上作選擇，設計可再搭配實際需求，採用較佳的組合。

參考文獻

1. Beyer, R, 1963, Kinematic Synthesis of Mechanism, Chapman & Hall.
2. Chen, C. and Angeles, J., 2008, "A novel family of linkages for advanced motion synthesis," Mechanism and Machine Theory, Vol. 43, pp. 882-890.
3. Chen, N. X. and Song, S. M., 1994, "Direct Position Analysis of the 4-6 Stewart Platforms," ASME J. Mech. Design, Vol. 116, pp. 61-66.
4. Chiang, C. H., 1988, Kinematics of Spherical Mechanisms, Cambridge University
5. Chung, W. Y., 2005, "The Position Analysis of Assur Kinematic Chain with Five Links," Mechanism and Machine Theory, Vol. 40, No. 9, pp. 1015-1029.
6. Comsit M., Visa I., 2007, "Design of the linkages type tracking mechanisms of the solar energy conversion systems by using Multi Body Systems Method", 12th IFToMM world congress, A582.
7. Craig J. J., 2005, Introduction to Robotics, 3rd , Prentice Hall.
8. Dado, H.F., 2005, "Limit position synthesis and analysis of compliant 4-bar mechanisms with specified energy levels using variable parametric pseudo-rigid-body model," Mechanism and Machine Theory, Vol. 40, pp.977-992.
9. Davis J. C. and Hofmeister C. A., 1997, Substrate Transport Apparatus with Dual Substrate Holders, US patent 5647724.
10. Dong, H. and Wang, D., 2007, "New Approach for Optimum Synthesis of Six-bar dwell", 12th IFToMM world congress, A898.
11. Gatti, G. and Mundo, D., 2007, "Optimal synthesis of six-bar cammed-linkages for exact rigid-body guidance," Mechanism and Machine Theory, Vol. 42, pp. 1069-1081.
12. Genov G. et al., 2000, Robot Having Multiple Degrees of Freedom, US patent 6037733.
13. Haulin, E. N., Lakis A. A. and Vinet, R., 2001, "Optimal synthesis of a planar four-link mechanism used in a hand prosthesis," Mechanism and Machine Theory, Vol. 36, pp. 1203-1214.
14. Hunt, K. H., 1978, Kinematic Geometry of Mechanisms, Oxford University.
15. Husain, M. and Waldron, K. J., 1994, "Direct Position Kinematics of the 3-1-1-1 Stewart Platform," ASME J. Mech. Design, Vol. 116, pp. 1102-1107.
16. Jaime G., Jose M. and Alici G., 2006, "Kinematics and singularity analyses of a 4-dof parallel manipulator using screw theory," Mechanism and Machine Theory, pp. 1048-1061.
17. Laribi, M. A., Mlika, A., Romdhane, L., Zegloul, S., 2004, "A combined genetic

algorithm-fuzzy logic method (GA-FL) in mechanisms synthesis", *Mechanism and Machine Theory*, pp. 717-735.

18. Laribi M.A., Romdhane L., and Zeghloul S., 2007, "Analysis and dimensional synthesis of the DELTA robot for a prescribed workspace," *Mechanism and Machine Theory*, pp 859-870.
19. Li H., Gosselin C. and Richard M., 2006, "Determination of maximal singularity-free zones in the workspace of planar three-degree-of-freedom parallel mechanisms," *Mechanism and Machine Theory*, pp. 1157-1167.
20. Lin, W. Y. 2010, "A GA-DE hybrid evolutionary algorithm for path synthesis of four-bar linkage," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 45, pp. 1096-1107.
21. Lin, W., Crane, C. D., and Duffy, J., 1994, "Closed Form Forward Displacement Analysis of the 4-5 In-Parallel Platforms," *ASME J. Mech. Design*, Vol. 116, pp. 47-53.
22. Liu X., Wang J. and Pritschow G, 2006, "On the optimal kinematic design of the PRRRP 2-DoF parallel mechanism," *Mechanism and Machine Theory*, pp. 1111-1130.
23. Merlet J. P., 2006, *Parallel Robots*, Springer.
24. Myszka, D. H. and Murray, A. P., 2010, "Pole arrangements that introduce prismatic joints into the design space of four- and five-position rigid-body synthesis," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 45, pp. 1314-1325.
25. Peng, C. and Sodhi, R. S. 2010, "Optimal synthesis of adjustable mechanisms generating multi-phase approximate paths," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 45, pp. 989-996.
26. Pierrot, F., Nabat, V., Company, O., Krut, S. and Poignet P., 2009, "Optimal Design of a 4-dof Parallel Manipulator: From Academia to Industry," *IEEE Transactions on Robotics* , Vol. 25, pp. 213-224.
27. Raghavan, M., 1993, "The Stewart Platform of General Geometry Has 40 Configurations," *ASME Journal of Mechanical Design*, Vol. 115, pp.277-282.
28. Russel K. and Sodhi R. S., 2001, "Kinematic synthesis of adjustable RRSS mechanisms for multi-phase motion generation", *Mechanism and Machine Theory*, pp. 939-952.
29. Russel K. and Sodhi R. S., 2002, "Kinematic synthesis of RRSS mechanisms for multi-phase motion generation with tolerances", *Mechanism and Machine Theory*, pp. 279-294.
30. Russell, Kevin., Lee, W.-T. and Sodhi, R. S., 2007, "On the application of CAD technology for the synthesis of spatial revolute-revolute dyads", *Computer-Aided Design*, Vol. 39, pp. 1075-1080.
31. Shih, A. J. and Yan, H.-S., 2002, "Synthesis of a single-loop, overconstrained six revolute joint spatial mechanism for two-position cylindrical rigid body guidance", *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 37, pp. 61-73.
32. Shiakolas, P.S., Koladiya, and Kebrle, D. J., 2005, "On the optimum synthesis of six-bar linkages using differential evolution and the geometric centroid of precision positions technique," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 40, pp. 319-335.
33. Soh G. and McCarthy J, 2007, "Synthesis of Eight-Bar Linkages as Mechanically Constrained Parallel Robots", 12th IFToMM world congress, A653.
34. Soh, G. S. and McCarthy, J. M., 2008, "The synthesis of six-bar linkages as constrained planar 3R chains," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 45, pp. 160-170.
35. Stewart D. 1963, "A Platform with Six Degrees of Freedom," *Proc. Inst. Mech. Eng.*, London, Vol. 180, pp. 371-386.
36. Suh, C. S. and Radcliffe, C. W. 1978, *Kinematics and Mechanisms Design*
37. Tao, D. C., 1964, *Applied Linkage Synthesis*, Addison-Wesley.
38. Tavolieri, C., Ottaviano, E. and Ceccarelli M., 2006, "Pose Determination for a Rigid Body by Means of CaTraSys II (Cassino Tracking System)," the first European Conference on Mechanism Science.

39. Tsai L. and Morgan A., 1985, "Solving the Kinematics of the Most General Six- and Five-Degree-of-Freedom Manipulators by Continuation Methods," ASME J. Mech. Transm. Autom. Des., Vol, 107, pp. 189-200.
40. Tsai, L. W., Walsh, G. C., and Stamper, R., 1996, "Kinematics of a Novel Three-DOF Translational Platform," Proc. IEEE 1996 International Conference on Robotics and Automation, pp. 3446-3451.
41. Tsai, L-W, 1999, Robot Analysis, John Wiley & Sons
42. Wampler, C.W., 1996, "Isotropic coordinates, circularity, and Bezout numbers: planar kinematics from a new perspective" ASME, DETC/MECH-1210.
43. Xi F., Xu Y. and Xiong G., 2006, "Design and analysis of a re-configurable parallel robot," Mechanism and Machine Theory, pp. 191-211.
44. Xu, W.L., Lewis, D., Bronlund, J.E. and Morgenstern, M.P., 2008, "Mechanism, design and motion control of a linkage chewing device for food evaluation," Mechanism and Machine Theory, Vol. 43, pp. 376-389.
45. Yu, H., Tang, D. and Wang Z., 2007, "Study on a new computer path synthesis method of a four-bar linkage," Mechanism and Machine Theory, Vol. 42, pp. 383-392.
46. Zhou, H. 2009, "Dimensional synthesis of adjustable path generation linkages using the optimal slider adjustment," Mechanism and Machine Theory, Vol. 44, pp. 1866-1876.
47. Zhou, H. and Ting, K.-L., 2002, "Adjustable slider-crank linkages for multiple path generation," Mechanism and Machine Theory, Vol. 37, pp. 499-509.
48. Zhou, H. and Cheung, H.M., 2004, "Adjustable four-bar linkages for multi-phase motion generation," Mechanism and Machine Theory, Vol. 39, pp. 261-279.
49. 洪芝青，顏鴻森，劉念德，2007，"混合八連桿型步行機器馬之機構設計"，第十屆機構與機器學術研討會，B05。
50. 徐正會，陳國桂，2007，"輪椅自動調節腳架之分析與設計"，第十屆機構與機器學術研討會，B07。
51. 蔣君宏，2002，平面機構之運動學與設計，高立。
52. 鐘文遠、簡妥芸，2006，"Assur 運動鏈之構形數目與位置解析"，第廿三屆全國機械工程學術研討會，C1-019.
53. 鐘文遠，2009，單自由度複合式平台的設計與合成，國科會研究報告，NSC 97-2221-E-034-009。
54. 鐘文遠，2010a，以低維機構驅動的三維運動平台，國科會研究報告，NSC 98-2221-E-034-006。
55. 鐘文遠，2010b，"以單自由度複合式平台執行三維路徑演生"，華岡工程學報，Vol. 26，pp. 51-57。
56. 鐘文遠，2010c，"以單自由度複合式平台執行三維物體導引"，第十三屆全國機構與機器設計學術研討會，260018。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/10/19

國科會補助計畫	計畫名稱: 三維複合式平台的設計與探討
	計畫主持人: 鐘文遠
	計畫編號: 100-2221-E-034-008- 學門領域: 機構與傳動
無研發成果推廣資料	

100 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：鐘文遠		計畫編號：100-2221-E-034-008-					
計畫名稱：三維複合式平台的設計與探討							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	1	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

對於運動要求較簡單，而且變動頻率較低的場合，該等三維複合式運動平台，可提供另一種選擇方案，有助於生產線的自動化。且因僅具單一或兩個驅動器，可大幅降低成本，以及簡化控制的複雜度。

對空間機構的構形探討，由於相關文獻僅限於 Stewart-Gough 平台及單迴路連桿組，所以該研究具有特殊性。另外探討過程使用多種方法，並涉及平面機構及球面機構，加以交叉分析其幾何與運動學的關聯性。對該領域的研究提供融會貫通的機會。

以具兩個自由度的圓柱接頭為驅動裝置，可讓姿勢的指定數增為八個；若數目為七時，如數值例所示，仍存在無限個解；換言之，驅動點仍可於數條曲線上作選擇，設計可再搭配實際需求，採用較佳的組合。