



研究論文

四軸史都華平台應用於輪椅座椅多自由度調整機構設計

許博爾^{1,2} *徐業良^{1,2} 張程皓^{1,2} 翁啟軒¹ 曾吉宏¹

¹元智大學 機械工程學系

²元智大學 老人福祉科技研究中心

摘要

輪椅的座椅是使用者與輪椅之間接觸最直接、時間也最長的人機介面。座椅調整功能的設計是能否滿足使用者對於乘坐舒適性與日常生活輔助功能需求的關鍵。本論文提出了一個多自由度座椅調整機構設計，其以輕量化、結構簡潔、與直覺地控制方式，滿足輪椅使用者對於日常生活的座椅調整需求。多自由度座椅調整機構是以 4 軸史都華平台所達成，具備有升降起伏、前後翻滾、與左右橫移等 3 個自由度，提供座椅高度改變、傾角調整、與平移轉位輔助的功能。本座椅機構特殊的幾何設計及接點選擇可讓使用者僅須利用按鍵即可直覺地調整座椅機構。

關鍵詞：座椅調整機構、史都華平台、機器人輪椅、左右平移

1. 設計背景與目的

輪椅是最常見的行動輔具之一，對於行動不便的輪椅使用者來說，輪椅的座椅可說是與輪椅之間接觸最直接、時間也最長的人機介面。為了讓使用者在長期的坐姿狀態下能適當的減低臀部壓力，以及配合環境與使用需求，許多輪椅增加了調整機構以調整高低與傾躺程度，除提升乘坐舒適性外也可以相當程度的增加使用者的活動能力，如高處取物、起身輔助、橫向轉位等。然而綜觀各類型座椅調整機構設計，每項調整功能經常擁有一組特殊機構，可調功能越多便代表座椅複雜度的提升，使得輪椅的機械結構變得複雜且龐大、笨重，更可能因此影響了輪椅製作成本及使用者的使用意願。

「史都華平台(Stewart platform)」最早的雛型出現於 1956 年，由 Gough 因為工作上的需求所建立(Gough, 1956)，隨後在 1965 年由 Stewart 加以改良，Stewart 發表並聯式六軸機械人設計，命名為史都華平台並用來製作飛行模擬器後，史都華平台也逐漸成為飛行模擬器之標準機構(Stewart, 1965)。如圖 1，史都華平台只需一組機構便可達到六個方向的自由度，減少同樣目的下的機構複雜程度與體積大小。(Dasgupta, et al., 2000)對史都華平台的定義為：“廣泛的史都華平台是由兩個

剛體構成（稱做固定板與可動板），藉由六根可延長的支柱所連結，其支柱與兩剛體的接點皆為球接頭，亦或一頭為球接頭，另一頭為萬向接頭。”

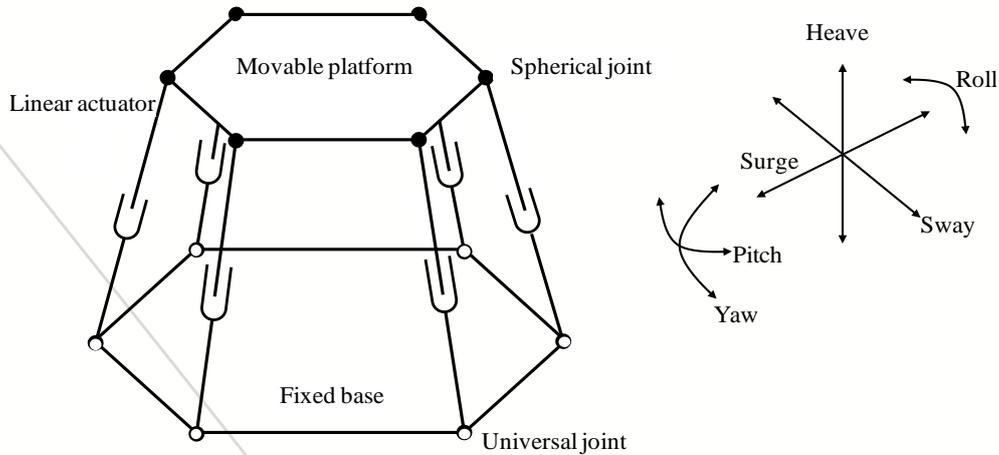


圖 1. 史都華平台示意圖

本研究試圖將史都華平台這種高剛性、多自由度且簡潔的並聯式機構應用於輪椅座椅調整機構設計。以下各節分別說明其設計概念、控制方式，以及電腦模擬和實體原型測試結果。

2. 史都華平台應用於輪椅多自由度調整機構設計

輪椅座椅自由度調整需求，僅有高度改變、傾角調整、及平移轉位輔助，因此本研究將史都華機構由六軸簡化為四軸，固定在輪椅框架上。如圖 2 所示，四軸史都華平台座椅調整機構仍然由一組固定板（座椅椅架）與可動板（座椅）構成，搭配四支電動致動器(Actuator 1~4)，並於固定板上端搭配旋轉接頭、可動板與固定板下端使用兩個自由度的萬向接頭。

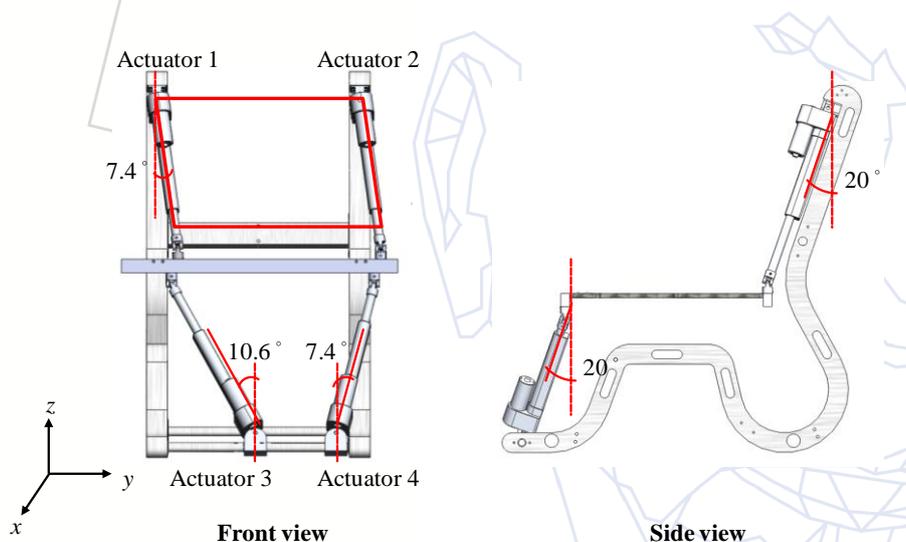
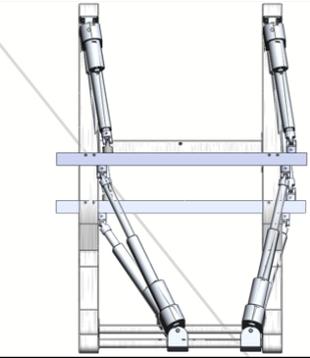
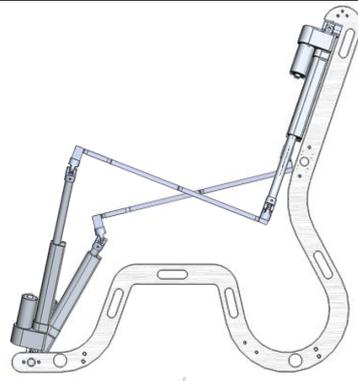
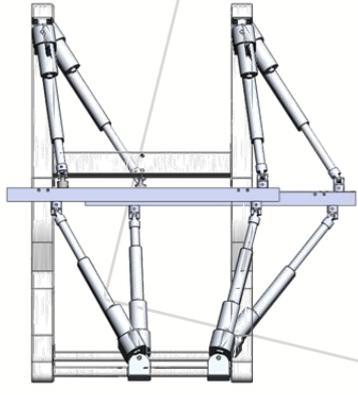


圖 2. 四軸史都華平台座椅調整機構

如表 1 所示，控制四支電動致動器的伸縮變化，四軸史都華平台座椅調整機構得以達成升降 (heave)、前後傾 (pitch)、及左右平移 (sway) 等三個自由度的動作。搭配座椅相關尺寸及致動器長度和最大伸長量，本研究設定調整範圍為升降 200mm、平移 150mm、傾角調整約正負各 15°。

表 1. 致動器在三個自由度動作的伸縮變化

作動情形		方向	致動器 1	致動器 2	致動器 3	致動器 4
Heave		↑	縮短	縮短	伸長	伸長
		↓	伸長	伸長	縮短	縮短
Pitch		順時針	伸長	伸長	伸長	伸長
		逆時針	縮短	縮短	縮短	縮短
Sway		→	伸長	伸長	縮短	伸長
		←	縮短	縮短	伸長	縮短

為了讓使用者更直覺且人性化地操控座椅調整機構，我們使用類比的按鍵控制方式取代傳統史都華的數位操控，使用者不需要事先得知欲到達的位置座標以及移動速率，只要按下按鍵啟動座椅調整機構朝預期方向作動，中途要停止時僅需放開按鍵便可結束動作。如圖 2 所示，四支致動器中僅致動器 3 和其他三支致動器角度設定不同，使用者按鍵操控時，致動器 1、2、4 均以預設速度同步伸長或縮短，僅需計算致動器 3 伸長量。以左右平移的移動為例 (圖 3)，致動器 1、2、4 均以預設速度同步伸長時，控制器程式預先計算下一個時間點 t 的座椅位置，並以此求得致動器 3 的預期伸長量，以此預期伸長量與其他致動器之伸長量比較求得速度比，產生對應之 PWM 馬達控制訊號，下節將以電腦軟體進一步模擬致動器 動作。此外如表 2 所示，控制器中也利用程式

設定，規範操作條件與流程，避免座椅調整機構進入不安全的動作狀態。

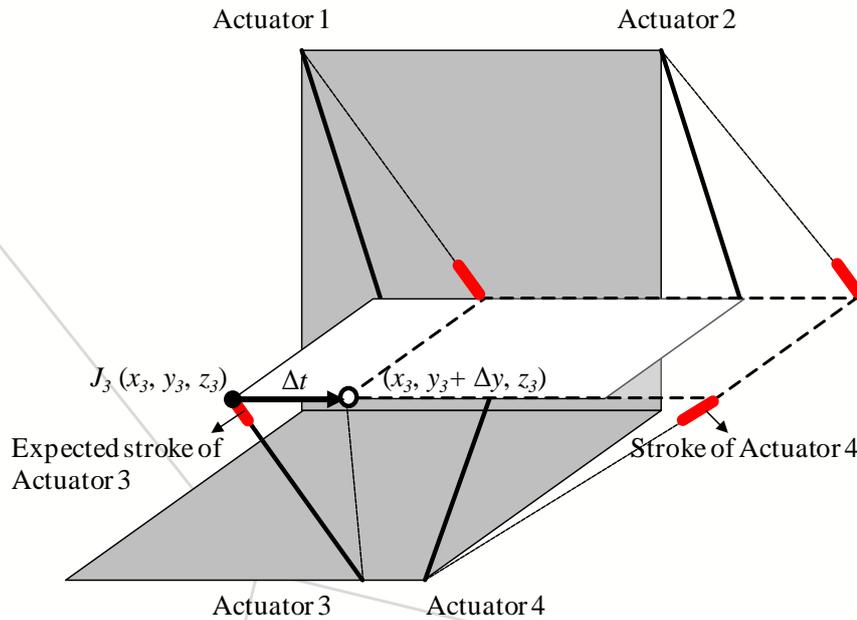


圖 3. 致動器 3 預期伸長量計算

表 2. 控制器中規範座椅調整機構操作條件與流程

升降操作	先判斷是否平移在外，若是則可動板回歸至中軸
前後傾操作	先判斷是否平移在外，若是則可動板回歸至中軸
平移操作	先判斷是否傾斜，若是則可動板回歸至水平

3. 輪椅多自由度座椅調整機構動作電腦模擬

為了更清楚確認機構的作動情形，本研究使用機構運動模擬軟體 SimWise 4D 版本 8.0.2 模擬座椅與致動器的位置變化、可移動的距離大小與傾斜的角度等資訊，以便與實際模型做對照。

圖 4 為模擬座椅在 10 秒內高度由 370mm 上升至 488mm 過程中，致動器的長度與座椅的座標，以座椅的幾何中心位置為模擬原點。從圖 4 中可看出，在升降操作時 4 支致動器的動作均為線性，且可發現致動器 1、2 與 4 動作是同步的，但致動器 1、2 是縮短，致動器 4 是伸長。從圖 4(b) 中可知，在上升的過程中，座椅在 X 軸方向有些微的往後移約 43mm，Y 軸方向保持不變。

圖 5 為模擬座椅在 10 秒內從 -15°(counterclockwise)前傾到 22°(clockwise)過程中，致動器的長度與座椅的角度，由圖 5(a) 中可看出，在前後傾操作時 4 支致動器的動作均為線性，且可發現致動器 1、2 與 4 動作是同步的。從圖 5(b) 中可看出，座椅在 X 軸方向前後傾時，Y 軸與 Z 軸方向仍是保持水平的狀態。

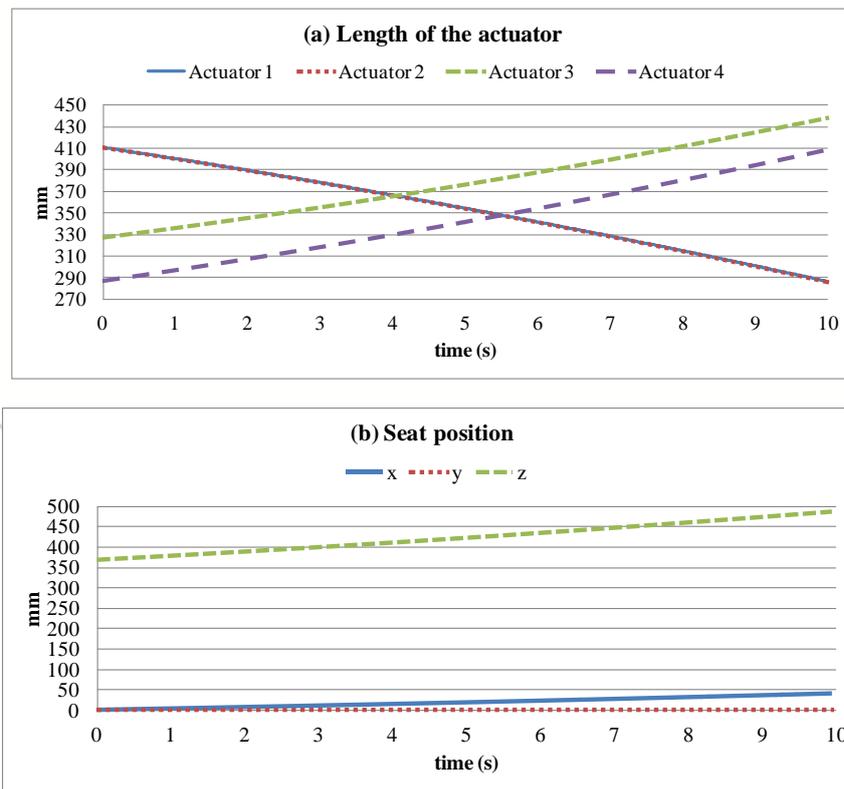


圖 4. 升降操作模擬

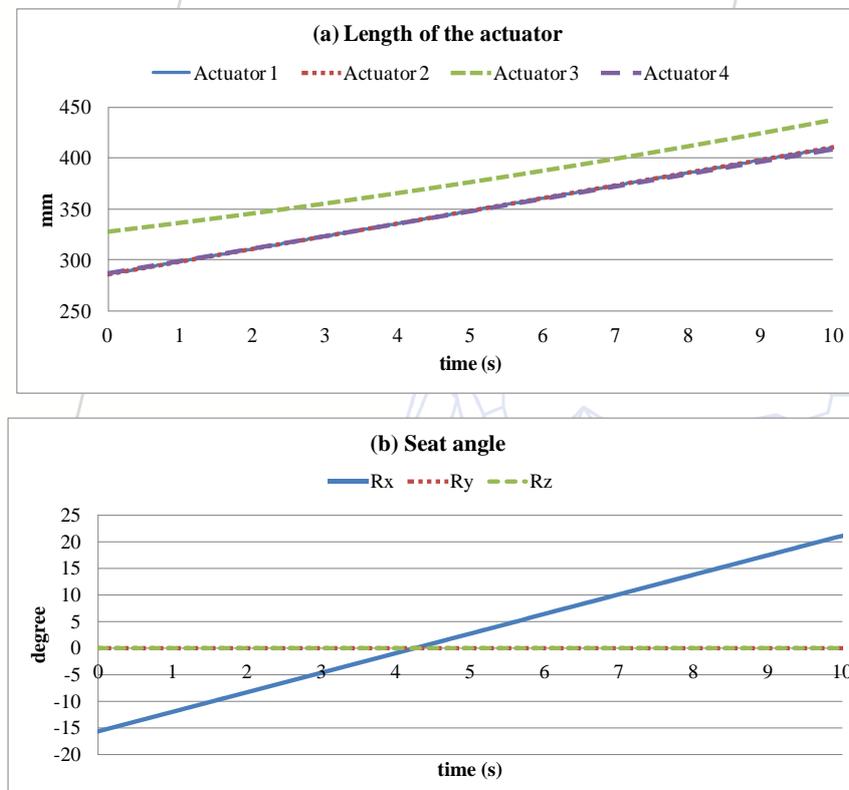


圖 5. 前後傾操作模擬

圖 6 為模擬座椅在 10 秒內在高度 414mm 處，由 0mm 平移至 140mm。從圖 6(a)可看出，在平

移操作時致動器 1、2、4 動作均為線性且同步，致動器 3 的伸長量呈現非線性的狀態。在圖 6(b) 中可看出，座椅在往+Y 軸方向平移的過程中，椅面（X 軸與 Z 軸）始終保持水平。

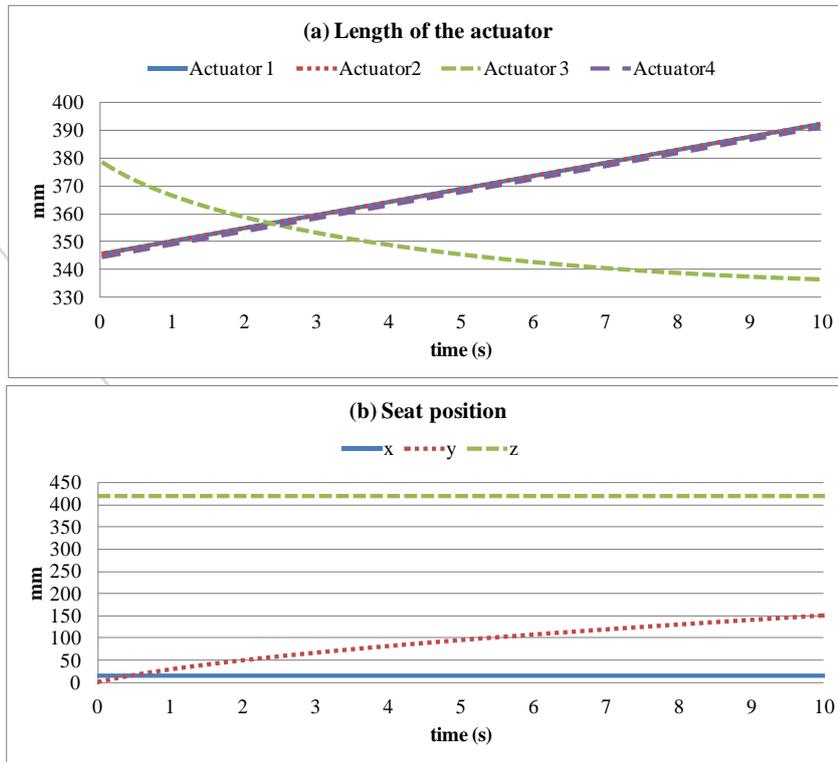


圖 6. 平移操作模擬

由上述模擬可知，多自由度調整機構動作過程中，致動器 1、2、4 的動作均為線性且同步，如第二節所述，使用者按鍵操控升降、前後傾、平移等動作時，致動器 1、2、4 均以預設速度同步伸長或縮短，控制器僅需計算致動器 3 伸長量，便能平穩操作。

4. 輪椅多自由度座椅調整機構原型測試

圖 7 為四軸史都華平台應用於輪椅多自由度座椅調整機構實體原型照片，表 3 為其基本規格。本研究使用 Kionix KXM52-1050 三軸加速規，置於座椅的幾何中心位置，紀錄其三軸加速度並轉換為角度，來檢測座椅在機構動作的過程中，其是否保持平順，特別是座椅高度調整及左右平移過程中，椅面是否可確實保持水平，以確保座椅機構調整過程中使用者的舒適與安全性。圖 7 中 α 、 β 與 γ 角分別為座椅面與 X、Y、Z 軸的夾角，可以看出機構作動時整個椅面仍能保持平穩。

表 3. 輪椅多自由度調整機構基本規格

長×寬×高	800×610×300 mm	座椅初始高度	414 mm	升降範圍	370 ~ 488 mm
傾角調整範圍	22° (前傾) / -15° (後仰)	平移調整範圍	視座椅高度而定，最大調整範圍約 140 mm		



圖 7. 輪椅多自由度調整機構實體原型照片

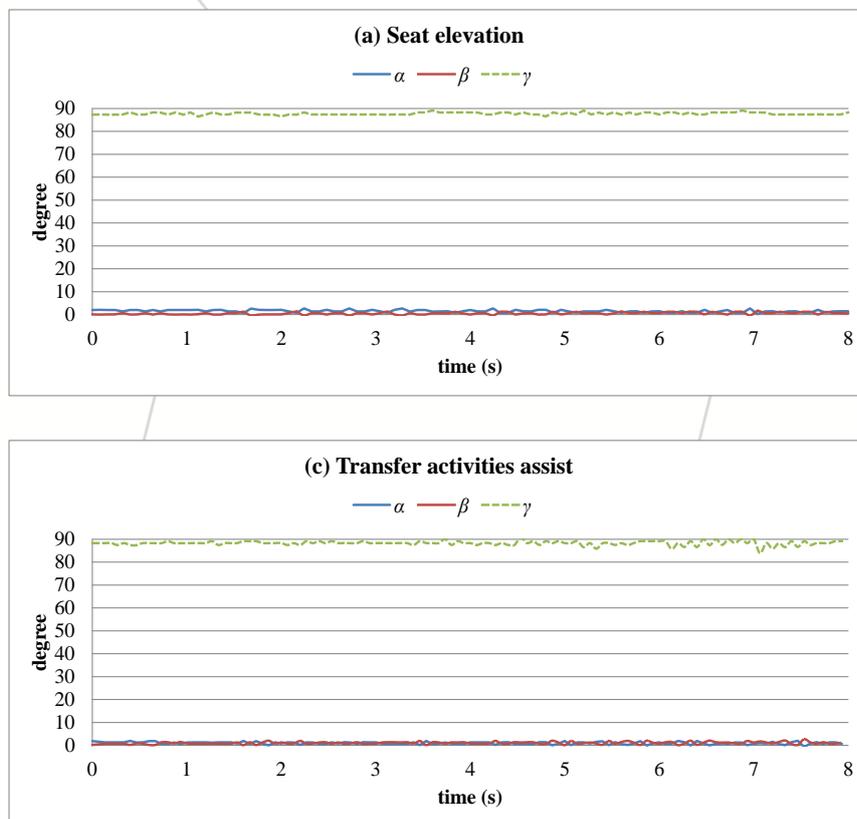


圖 7. 座椅高度調整及左右平移過程中椅面角度變化

5. 結論

現今大多數之電動輪椅產品多著重於載具移動能力，少數擁有調整機構的產品則在結構上較為複雜、笨重且體積龐大，更由於一組機構僅能執行一種自由度的調整，導致大多數產品只有一至兩種調整自由度可使用。四軸史都華平台應用於輪椅多自由度調整機構則有著一組機構即可完

成三項自由度的優勢，且結構上僅利用可動板、固定板與四組電動致動器等簡單的配置即可達到目的。座椅平移對大多數市面產品來說是少有的功能，此功能在高齡者轉位輔助上卻有著重要的關鍵。利用史都華多自由度調整機構達成平移功能，勢必可拓展使用者的生活空間與便利性，減少使用者與生活環境的間隙。

由於整體結構相當簡單，只要使用特定的接頭配置，就可以將史都華多自由度調整機構整合至市面上各種行動輔助載具平台，如普通電動輪椅、代步車等。此一技術於未來若能實際應用於高齡者、身障者輔助器具必能對提供使用者更佳更舒適的生活輔助。

參考文獻

1. Dasgupta B. and Mruthyunjaya T. S. (2000). The Stewart platform manipulator: a review. *Mechanism and machine theory*, 35(1), 15-40.
2. Gough, V. E. (1956). Contribution to discussion of papers on research in automobile stability, Control and type performance. *Proceedings of the automobile division of the institution of mechanical engineers*, 392-394.
3. Stewart D. (1965). A platform with six degrees of freedom. *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers*, 180(15), 71-386.

The Multiple-DOF Seat Adjustment Mechanism Design Based on the 4-axis Stewart Platform

Hsu, P.-E.^{1,2}, *Hsu, Y.-L.^{1,2}, Chang, C.-H.^{1,2}, Weng, Q.-X.^{1,2}, Zeng, J.-H.^{1,2}

¹Mechanical Engineering Department, Yuan Ze University

²Gerontechnology Research Center, Yuan Ze University

Abstract

The wheelchair user makes direct contact with the seat, which serves as the interface between the user and the wheelchair, for much of any given day. Seat adjustment design is of crucial importance in providing proper seating posture and comfort. This paper presents a highly adjustable seat adjustment mechanism, which is designed to increase the independence of the wheelchair user, while maintaining a concise structure, using a light weight design, and providing an intuitive control interface. This four-axis Stewart platform is capable of the dealing with the motions of heaving, pitching, and swaying while providing seat elevation, tilt-in-space options, and sideways movement functions. The geometry and types of joints of this mechanism are carefully arranged so only one actuator needs to be moved at any one time for any particular desired motion, enabling the wheelchair user to adjust the seat by simply pressing a button.

Keywords: seat adjustment mechanism, Stewart platform, robotic wheelchair, sideways movement