

應用 PID 於直升機轉速與耗能控制之研究

Research on Speed and energy consumption Control of Helicopter by Using PID

馬原懷^a、謝宗翰^b、林賢聖^a、李冠勳^a、陳羽暄^a

^a龍華科技大學電子工程系、桃園市龜山區萬壽路一段 300 號

^b逢甲大學航太與系統工程學系、台中市 40724 西屯區文華路 100 號

摘要

本論文重點研究新型同軸雙旋翼無人直升機飛行動力 PID 控制法對飛行姿態控制性能影響，導入至飛行控制嵌入式系統中測試實際飛行耗能效能。因本論文實驗受控體之新型同軸雙旋翼無人直升機在機構上的創新改變，因此必須重新考量流體力學或姿態控制方面的理論和建模工作。而本論文提出之新型設計在控制系統上和過去設計不同，所以必須創建新的飛行數學動力模型、控制系統和測試不同演算法所產生的效能，藉以選出最適合和最穩定的演算法導入飛行控制嵌入式系統中。本論文以三軸馬達直升機架構之穩定性，利用三顆馬達來代替原本的單一軸體的風險性及穩定性又或者是成本節省。預期這項研究技術的可在未來的被應用於實際運用中，達到節省成本與降低故障率。

現今小型旋翼直升機載具多以電動馬達與電池做為動力能源，大多數的直升機是將馬達配置於主軸之前或是配置於主軸之後，前者稱為前置馬達，後者稱為後置馬達。無論是前置馬達或是後置馬達，其配置的位置都與主軸升力中心具有一定的偏差，因此常會使得直升機之重心呈現一前傾或是後仰的姿態，一般的解決方法是透過其他的結構補償設計，比如加上配種用於的小鉛塊或是調整葉片攻角的角度來抵消這個設計上的缺點，但也同時犧牲了一些攻角的升力。本論文研究中提出的新型電動直升機動力傳動系統設計，透過電動馬達內置於星型齒輪的內齒輪的動力傳動的方式，將原本具有內齒輪與外齒輪的星型齒輪中的內齒輪驅動軸與電動馬達結合，由馬達帶動內齒輪轉動，再經由內齒輪帶動外齒輪運轉，在外齒輪的外圍設計一可連接葉片之連接器，並從連接器延伸鏈接葉片，使外齒輪由內齒輪驅動旋轉時也同時帶動外圍之葉片組進行旋轉，達到傳統直升機動力傳動、主軸與葉片的功能。電動馬達搭配星型齒輪之結構圖，如圖 1 所示。可將原來直升機動力系統之重心（後置後偏或前置前偏）移動至直升機主軸中心的位置，避開了直升機中心偏移的設計缺點，提高了直升機的飛行穩定性，減少會損失效能的補償設計。同時在動力傳送上，馬達出力直接由星型齒輪的內齒傳導至星型齒輪的外齒，僅一次的齒輪傳動功率損耗。相比於傳統的直升機動力傳動方式，則是將橫向配置的電動馬達動力傳動到垂直配置的直升機旋轉主軸，透過 3 至 4 次的齒輪傳動，造成多次的能量損耗。本研究提出的電動馬達搭配星型齒輪的新概念，可以大大的減少齒輪的傳動功率損失。

本論文研究提出應用電動馬達搭配星型齒輪於直升機動力傳動機構的新概念，當內齒輪順時針旋轉時，同時帶動外齒輪也順時針旋轉；反之亦然。此直升機扭轉設計可以使用同軸逆向旋轉的方式或是透過尾槳的方式抵消產生的反作用扭矩。三向電動馬達搭配星型齒輪之 3D 圖，如圖 2 所示。如圖所示由三個無刷馬達固定在直升機主軸底部，馬達軸心鏈接星型齒輪之內齒輪，由內齒輪帶動外齒輪，外齒輪上之連接器鏈接葉片與外齒輪。直升機搭配星型齒輪設計的直升機主軸並不會轉動，此設計優點與傳統的直升機不同。傳統直升機是透過主軸傳遞旋轉動能至葉片。馬達固定在不轉動之主軸上，由內齒輪直接驅動外齒輪，旋轉動能不經過主軸。因此，主軸可以選擇較輕的玻璃碳纖維材料，而不需要如傳統直升機一樣，因為強度和硬度的關係需要使用高強度的航太複合材料。雖然航太複合材料已經是很輕的金屬材料，但是與碳纖維和玻璃纖維合成的複合材料相比，還是較重。在航太領域中，可以選擇更輕的材料，當然是對飛行器是更好的設計。

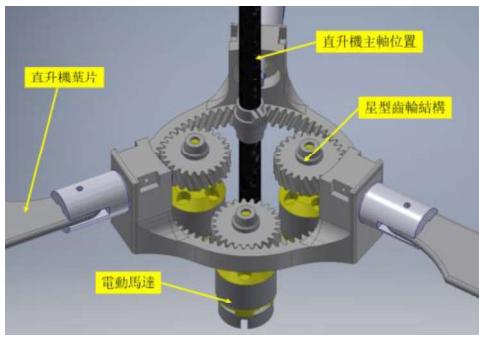


圖 1、三向電動馬達搭配星型齒輪之 3D 圖

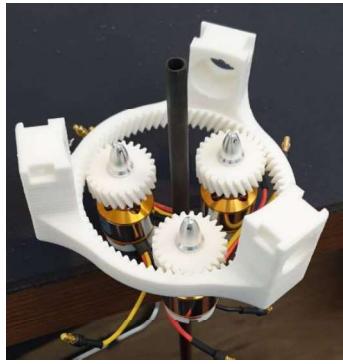


圖 2、三向電動馬達搭配星型齒輪之 3D 列印實體圖



圖 3、新型同軸雙旋翼無人直升機實體圖

本論文提出之新型同軸雙旋翼無人直升機飛行動力最上層是一個光感測器，接下來是三個葉片由底下的三顆馬達 A,B,C 所控制，這三顆馬達再由下一層的電子調速器所控制，如圖 3 新型同軸雙旋翼無人直升機實體圖所示，最後由樹梅派控制它們的運作。由圖 4 可知直升機馬達轉速呈現階梯狀的圖形，轉速控制是以階梯的方式往斜上方移動，由圖 4 可知馬達在 PWM=39800 左右就開始慢慢地轉動，過程中 RPM 也一直在提高，然後由於設定的 PWM 上限為 50000，所以它到了 PWM=50000 時 RPM 就會開始慢慢的下降，此測試數據也讓我們了解到在每一個不一樣的 PWM 上都有各自固定的轉速範圍像是在 PWM=41000 RPM=525 左右;PWM=41500 RPM=615 左右;PWM=42000 RPM=700 左右;PWM=42500 RPM=780 左右...等，到了最後 PWM=50000 時 RPM 大約等於 1675。

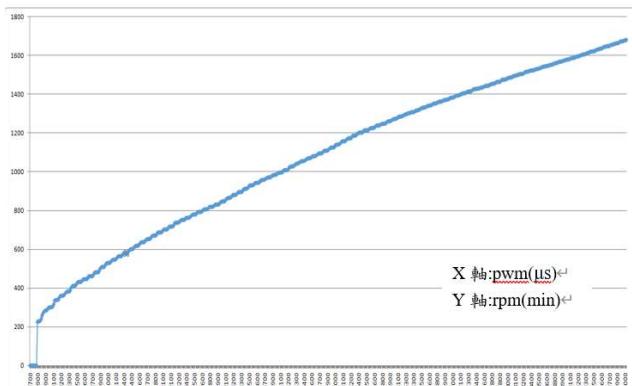


圖 4、Motor_C_PWM+100 階梯圖

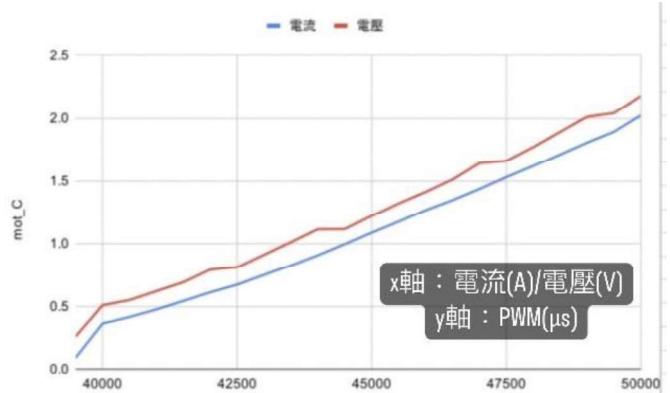


圖 5、mot_C_PWM+500 線狀圖

由圖 5 可知，設定 mot_C 的 PWM 上限為 50000。mot_C 與 mot_A 和 B 不同，它的 PWM 起始數值為 39500。相較於 mot_A 和 B 的電壓線圖，mot_C 的階梯形狀就比較明顯，在 PWM=42000~42500、PWM=44000~44500 和 PWM=47000~47500 時測得電壓趨近相同，進而出現階梯狀的電壓線性圖。電流則依然平穩遞增，只有在 PWM=49500~50000 時測得電流相較其他區間高。也可得知 mot_C 在不同 PWM 時所需的電流電壓，例如:PWM=43000 電壓為 0.91 電流為 0.748 PWM=45000 電壓為 1.22 電流為 1.086 PWM=48000 電壓為 1.77 電流為 1.618 PWM=50000 電壓為 2.18 電流為 2.022。

圖 6.為三向電動馬達轉速控制數據分析，可知三顆馬達在同時運轉的時候雖然在 20%前 A 馬達的動力相較於 B 馬達與 C 馬達有些許的落後，但是在增加了 40%的動力後已經十分接近其他兩顆馬達，甚至在最後達到 60%的動力時我們可以看到三顆馬達的動力已經達到平衡且穩定輸出。

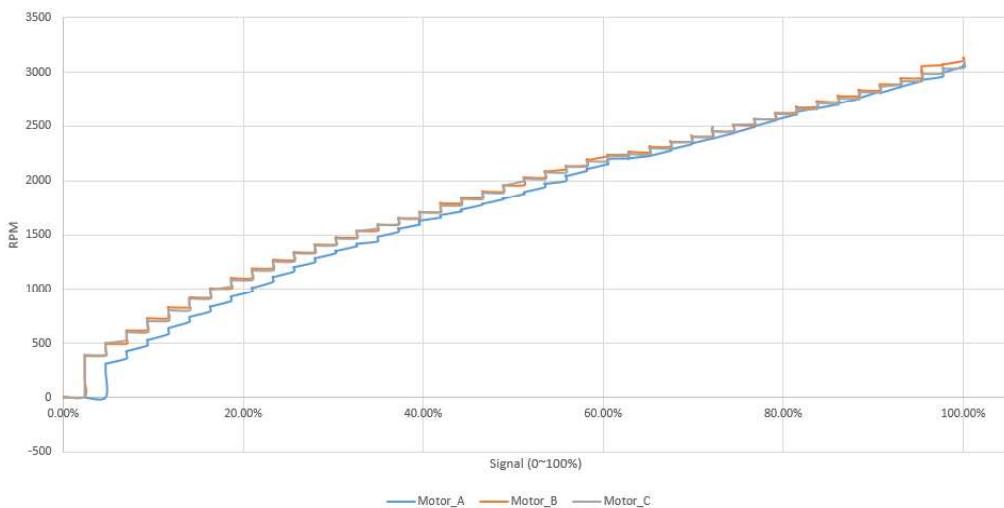


圖 6. 三向電動馬達轉速控制數據分析

新型同軸雙旋翼無人直升機飛行動力 PID 控制數據圖，如圖 7 所示。PID 控制數據圖中在 0 到大約 30 秒的圖波產生不同的控制突波主要是因為每一顆馬達達到穩定的時間都不同，所以在程式上面使用了 PID 的控制讓三顆馬達能夠以一樣的動力輸出並穩定的運行。

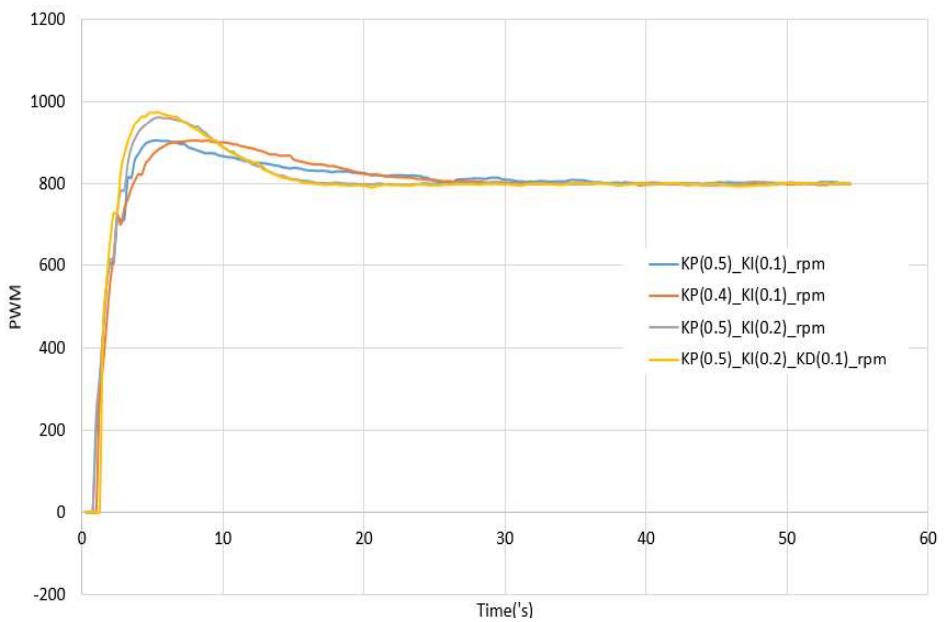


圖 7. 新型同軸雙旋翼無人直升機飛行動力 PID 控制數據

本論文重點研究新型同軸雙旋翼無人直升機飛行動力 PID 控制法對飛行姿態控制性能與電能消耗之影響。本論文實驗受控體之新型同軸雙旋翼無人直升機在機構上的創新改變，因此必須重新考量流體力學或姿態控制方面的理論和建模工作。而實驗結果顯示在本論文提出之新型設計在控制系統上可達到直升機馬達轉速呈現階梯狀的圖形控制，轉速控制是以階梯的方式往斜上方移動。而在三向電動馬達轉速控制中，三顆馬達在同時運轉的時候雖然馬達 A 在 20%前有些許的落後，但是在增加了40%的動力後已經十分接近其他兩顆馬達，達到 60%的動力時三顆馬達的動力已經達到平衡且穩定輸出。PID 控制測試中在 0 到大約 30 秒的圖波產生不同的控制突波主要是因為每一顆馬達達到穩定的時間都不同，所以在程式上面使用了 PID 的控制讓三顆馬達能夠以一樣的動力輸出並穩定的運行。本論文以三軸馬達直升機架構之穩定性，利用三顆馬達來代替原本的單一軸體的風險性及穩定性又或者是成本節省。預期這項研究技術的可在未來的被應用於實際運用中，達到節省成本與降低故障率。

關鍵詞：新型同軸雙旋翼無人直升機、飛行載具控制系統、PID 演算法

誌謝

本文研究結果由國科會(專題計畫：NSTC 112-2221-E-262-006)與國家太空中心(專題計畫：NSPO-P-111036)之補助得以順利完成特此謝誌。

參考文獻

- [1] GENERAL ATOMICS Predator. <http://www.ga-asi.com/products/aircraft/predator.php>, (08/12/2009).
- [2] EADS Barracuda. <http://www.eads.net/1024/en/businet/defence/mas/uav/barracuda.html>, (08/12/2009)
- [3] RUAG Ranger. http://www.ruag.com/en/AerospaceTechnology/Aircraft_Services/Military_Aircraft_Services/Unmanned_Aerial_Systems, (08/12/2009).
- [4] A. Noth, R. Siegwart, and W. Engel. Autonomous Solar UAV for Sustainable Flight. In Advances in Unmanned Aerial Vehicles, State of the Art and the Road to Autonomy, pages 377–405. Springer, 2007.
- [5] J. Grasmeyer and M. Keenon. Development of the Black Widow Micro Air Vehicle. In 39th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, USA, 2001.
- [6] European Comission, “Current activities in the led of UAV,” <http://www.barnardmicrosystems.com/download/EC Frost Sullivan UAS Study.pdf>, 2007 (accesed January 2011).
- [7] Kimon P. Valvanis, Ed., Advances in Unmanned Aerial Vehicles, Springer, 1st edition, 2007.
- [8] P.H. Tatham, Int. J. Risk Assess. Manag. 13(1) (2009) 60-78.