

軍用自行車最佳變速策略之研究

陳曜承* 平新治** 林聰穎**

*國防部聯合後勤司令部

**國防大學中正理工學院機械工程學系

摘要

自行車部隊在戰場上是為了填補步兵與重機載具間之缺口，由於在山區叢林或是夜視行進過程中必須隨時留意四周動態，所以使用有效率及正確的變檔策略來控制變速系統能夠發揮戰力上之極限。故本文從人因工程上著手，發展了能隨騎士生理特性及外界環境調整之智慧型變檔策略，並撰寫控制程式來執行自動變速之動作，使騎士能透過變速系統在不同的外界環境下達到維持最佳功率輸出之目的，並且減少檔位變換過程中產生之能量損失使換檔平順。

關鍵詞：軍用自行車，變速系統，人因工程

A Research on the Shifting Strategy for Military Bicycles

Yao-Cheng Chen*, Hsin-Chih Ping **, and Tsung-Yin Lin **

** *Combined Logistics Command, Ministry of National Defense, R.O.C.*

* *Department of Mechanical Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University*

ABSTRACT

Military bicycles are required for troops because they fill the gap between the infantry and motor vehicles. Soldiers riding bicycles must keep attention to the enemy especially over the mountain trails and night operations. Therefore, using the efficient and correct shifting strategy to control the bicycle transmission system can help troops and soldiers to get better efficiency on the battlefield. Based on ergonomic considerations, the intelligent shifting strategy that can be adjusted according to external physical conditions and different cyclists has been proposed. The computer program is also implemented to control the automatic transmission (derailleur) system. It makes riders to maintain optimum power output during cycling. The energy losses during gear-changing process can be reduced, and riders will feel comfortable and efficient in cycling.

Keywords: Military bicycle, derailleur system, shifting strategy, ergonomic

文稿收件日期94.9.19; 文稿修正後接受日期 95.4.17

Manuscript received September 19, 2005; revised April 17, 2006.

一、前言

由於近年來環保意識的高漲及能源蘊藏量的日益枯竭，人力驅動交通工具(Human-powered Vehicles, HPVs) 在自行車被發明的時間相隔近百年後，又逐漸被世人所重視。在西元 1860 年代，自行車由 John Kemp Sterley 與 William Sutton 二人所發明[1]，歷經百年來的發展，雖然發展出了公路車(Road Bike)、登山車(Mountain Bike)、城市車(City Bike)、軍用車(Military Bike)等不同用途，但是其基本結構均大同小異，包含了車架(Frame Tube)、剎車系統(Brake System)、變速系統(Derailleur System)及傳動零件(Transmission Parts)等等。

自行車變速系統的功能就如同機動車輛中之變速箱，提供騎乘者在不同車速下皆有舒適之騎乘環境。完整之變速系統如圖 1 所示 [2]：

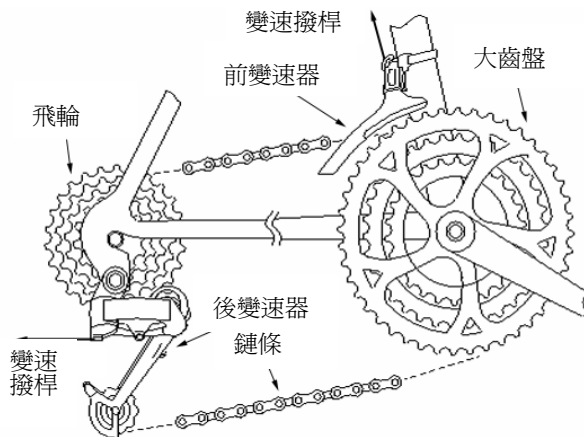


圖 1. 自行車變速系統[2]。

包含了大齒盤與飛輪 (Chainwheel and Freewheel)、前後變速器 (Front and Rear Derailleurs)、變速撥桿 (Shift Levers)、變速鋼索 (Cables) 及鏈條 (Chain)。變速鋼索連接變速撥桿與前後變速器，騎乘者可撥動變速撥桿使變速器導引鏈條至所需要的齒片 (Sprocket)。

在大齒盤中的較大齒片與飛輪中的較小齒片可提供較快之騎乘速度，反之則是提供較輕鬆省力的騎乘。以現在市面上常見的變速系統中，大齒盤大多具有 2 至 3 個齒片而飛輪多具有 7 至 9 個齒片。由不同齒片之排列組合可以得到不同齒數比 (Gear Ratio)，如此騎乘者便擁有多種選擇性，要求速度快或是要求省力輕鬆騎乘。

而自行車運用軍事上之用途，在 1885 年英國陸軍一個名為 Brighton Rifles 的單位在對抗騎兵部隊時使用自行車來調動部隊，這是歷史上第一次在戰場上使用自行車部隊 [3]。1888 年，英國陸軍成立了 26th Middlesex (Cyclist) Volunteer Rifle Corps 這是第一個全部由騎士組成的軍事單位。1896-1898，美軍少將 Nelson A. Miles 組織了 25th Infantry Bicycle Corps。在 1899-1902 年波爾戰爭中，英軍在南非使用自行車於戰鬥中以便於訊息傳遞 (Messenger)、偵察 (Scout Duty) 以及臨時增援 (Occasional Reinforcements)，這也是第一次實際參與戰鬥的紀錄。

到了二十世紀，1992 年瑞士陸軍採用一種新型態的自行車以取代 1905 年舊型自行車。這種新型自行車為重 22kg 可承載 170kg 的七速自行車並且包含機關槍 (Machine Gun) 和來福槍 (Rifle)。瑞士陸軍會採用自行車是因為低噪音、容易利用山間小道於國境內行駛並且比其他載具還快，行駛距離可達 30 公里，所以瑞士現有 5000 人所組成之自行車部隊。從 1993 到現在美國陸軍 1st Tactical Studies Group (Airborne) 使用軍事折疊自行車 ATBs (All Terrain Mountain Bicycles) 於空降訓練中。在對海地的空降入侵中以空投 (Airdrop) 的方式投入戰場並實際參與地面戰術計畫 (Ground Tactical Plan)，到目前為止仍有許多國家的軍事單位使用自行車，例如：The

British 5th Airborne Brigade、U.S. Army Units、Singapore Recon Snipers 及 Swiss Bicycle Regiments 等。

1997 年美國國防先進研究計畫局 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 與 Montague Corporation 合作開發了名為 The Paratrooper 的自行車，目的是為了填補徒步步兵 (Walking Infantry) 與重機械載具 (Heavy Military Vehicles) 之間的缺口。透過效率比較表[3] (表 1) 可以清楚地了解自行車會是最後的選擇之原因。任何機械動力載具的燃料需求一定大於人力驅動交通工具，因為不論是騎士或駕駛員都需要食物，但是除了自行車之外其他動力載具還需要燃料。另外機械動力載具的噪音很大且需要整體後勤補給支援，若支援無法隨部隊推進就會產生問題。自行車除了沒有上述缺點外，士兵可以使用自行車行駛於任何地形，後勤補給支援只有食物及消耗零件，對於短期間的任務需求而言可以自給自足。

表 1. 效率比較表[3]

系統	負載	每日前進距離	速度	每日消耗
步兵	20 kg	40 km	5 km/h	1.4 kg 食物 10 kg 飲水
自行車	20 kg	120 km	15 km/h	1.4 kg 食物 10 kg 飲水
騎兵	45 kg	160 km	25 km/h	20kg 糧草 1.4 kg 食物 80 kg 飲水
機車	45 kg	480 km	65 km/h	25kg 燃料 1.4 kg 食物 10 kg 飲水
卡車	4500 kg	480 km	65 km/h	570kg 燃料 1.4 kg 食物 10 kg 飲水

由於自行車部隊在行進過程中必須隨時留意四周敵軍動態，尤其在山區叢林或是夜視行進時更顯分身乏術，所以有效率之變速系統

便能減少戰士的負擔。以現行軍用自行車來說，多選用登山車所使用之 24 速變速系統 (如 Montague Corporation 公司之產品)，所以傳統變速系統中之缺點，如前後變速搭配上的困擾、齒數比重複、騎乘效率不易掌握等等而影響到騎乘者表現，此現象在以作戰需求至上的部隊來說更是重要，所以必須有一套完整的變速策略提供戰士以發揮最大效能。若再搭配上市面上之自動變速系統，將此策略內建於控制晶片中，戰士便不須分心操作變速系統就可以發揮最大戰力。

二、人因工程考量

2.1 固定功率輸出

自行車變速系統是爲了讓騎乘者能依外界環境來調整騎乘狀況，而外界環境的改變對人體的影響直接反應在腳部肌肉及呼吸系統，如果在太低踏速下騎車則腳的受力大容易傷到膝蓋，在太高踏速下騎車則會加快呼吸頻率使人迅速疲勞，所以正確的變檔 (或是有效地使用變速系統) 可以使騎士在遭遇不同外界環境時使用最佳的踏速來發揮人體最佳效能 [4]，最佳踏速因個人體能狀況而異，一般界於 60rpm 至 100rpm 間。對變速系統可解釋爲隨著外界環境的變化來改變身體與腳踏車之間關係的微調系統， P_w^R 爲抵抗外界阻力保持行進所需要之功率， P_R^R 爲人體輸出功率，其關係爲：

$$P_w^R = P_R^R \times \eta_m \quad (1)$$

$$P_w^R = \frac{2\pi}{60} \times \omega_w \times T_w \quad (2)$$

$$P_R^R = \frac{2\pi}{60} \times \omega_R \times T_R \quad (3)$$

其中 η_m 爲傳遞係數 (表示爲能量經過傳遞後之損失，介於 0.85 至 0.97 間[5])、 ω_w 爲自行

車輪子之轉速、 ω_R 為騎士之踏速、 T_w 為作用於自行車輪子之扭力、 T_R 為作用於踏板之扭力。換檔的目的就是要藉由改變齒輪比使人體能在不同的外界環境下維持固定的功率輸出 P_R 及踏速 ω_R ，例如上坡時阻力變大要換到低檔，此時齒輪比變小 ω_w 下降 T_w 變大，下坡時阻力變小所以要上檔使齒輪比變大 ω_w 上升 T_w 變小，透過這樣的微調使人體在不同的環境下亦能發揮最佳功率輸出。Wilson[1]提出 0.1hp 為人體最佳的輸出功率，保持這樣的輸出可以使整個系統達到一個終端速度 (Terminal Velocity) 並使人體維持在這樣的運動狀態好幾個小時而不會感到疲勞。運用 Martin[11]所提出的輸出功率與外界環境之關係式：

$$\begin{aligned} P_w &= [K_A(V + V_w)^2 + mg(s + C_R) + ma] \times V \\ &= F_E \times V \end{aligned} \quad (4)$$

其中 F_E 為外界阻力、 V 為自行車之車速、 V_w 為風速、 K_A 為風阻係數、 s 為坡度、 m 為系統質量包含騎士及自行車、 C_R 為路阻係數、 a 為加速度。當人體透過腳踏車踏板做功時，所輸出的能量可以抵抗外界環境對系統形成的阻力，如果 P_w 與外界消耗功率 ($F_E \times V$) 相等則系統會維持等速度運動，若是大於外界消耗功率則速度增加，反之則速度下降。所以若騎士以一固定功率輸出在外界條件暫時不改變的平地上騎一段時間，則車速會到達一終端速度。

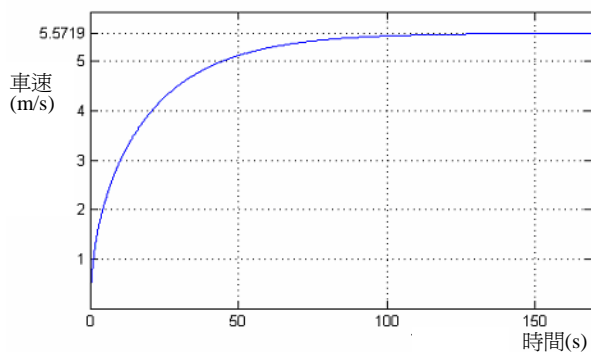


圖 2. 時間與速度關係圖。

圖 2 中之模擬為維持固定功率輸出 0.1hp 的時間與速度關係圖。當終端速度決定後，再經由騎乘者最佳踏速的設定，便可得知此時變速系統所需要的檔位，此定義為基本檔位 [4]。如圖 3 所示， ω_{R1} 、 ω_{R2} 、 ω_{R3} 、 ω_{R4} 為在此終端速度下各檔的踏速，由圖可知換檔至第三檔 R3 時，騎士的踏速 ω_{R3} 最接近最佳踏速 ω_p ，所以 R3 為基本檔位 (其中 R_j 代表第 j 檔， j 為 Gear-inch Number 大小之順序)。

2.2 最佳踏速與換檔時機

由參考文獻[1]中可知，人體的淨扭力與淨功率輸出和踏速間的關係如圖 4 所示：

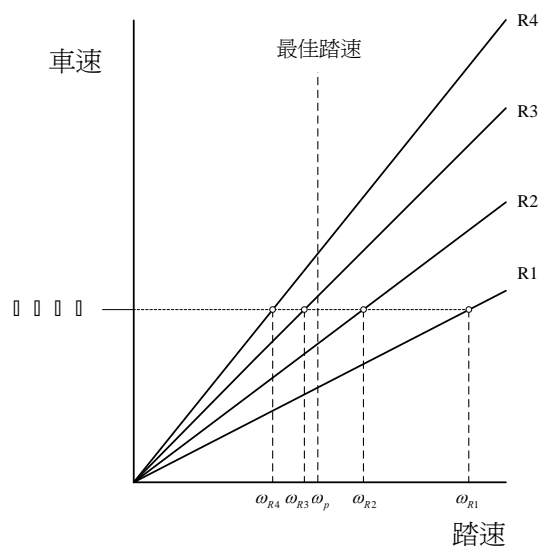


圖 3. 基本檔位示意圖。

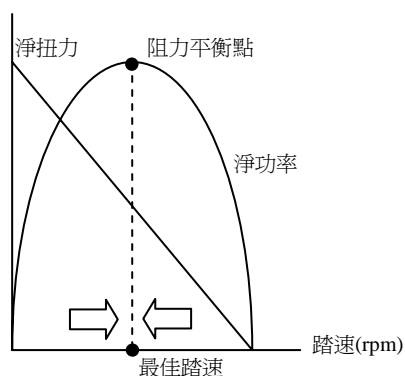


圖 4. 淨扭力與淨功率輸出和踏速關係。

當車速（踏速）增加時，功率曲線上升，但扭力曲線下降，達到阻力平衡點時，若車速（踏速）持續增加，則功率下降此時就必須使用變速機構上檔使踏速下降至阻力平衡點而車速持續增加，反之若踏速過低時就必須使用變速機構下檔使踏速上升至阻力平衡點使騎乘者功率輸出最大。若將人體淨功率輸出（圖3）與自行車檔位（圖4）結合，便可得知最佳換檔時機如圖5所示。當踏速持續增加至最大淨功率輸出時（ ω_p ），若在此時產生換檔動作則踏速會降低至 ω_1 ，瞬間人體輸出功率的變化量為18%。若在 ω_2 換檔，則踏速會降回至 ω_1 ，瞬間人體輸出功率的變化量為10%。故以人體感受性來說，由於淨功率輸出曲線是以最佳踏速為最大值向兩側遞減，故較佳的換檔時機為踏速超過 ω_p 並增加 $\Delta\omega$ 時。

三、最佳換檔點與序列

由以上討論可知，最佳換檔點可定義為功率變化量最小的檔位（或 $\Delta\omega$ 最小的檔位）。以單變速系統的腳踏車來說，所需的換檔策略只要解決最佳換檔時機這個問題就好了，但是若含前後2組變速系統的腳踏車，除了上述問題需解決外，還需解決最佳換檔序列的問題。

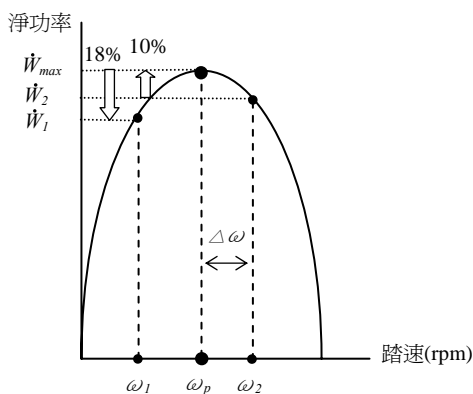
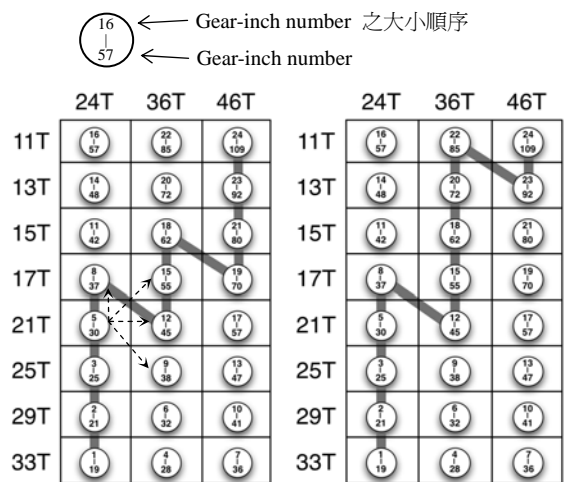


圖 5. 最佳換檔時機。

如圖 6(a)所示為 24 速變速系統包含前 3 速（24、36、及 46 齒）及後 8 速（11、13、15、17、21、25、29 及 33 齒），其中 R1→R2→R3→R5→R8→R12→R15→R18→R19→R21→R23→R24 為一變檔序列，其變檔組為 R1→R2、R2→R3 及 R3→R5 等，其目的是使騎士能由最低檔變速至最高檔，且充分利用變速系統所提供之變速範圍。首先說明不同變檔組對能量損失的影響。圖 6(a)虛線所示為在第五檔 R5 時可選擇的上檔組合為 R5→R8、R5→R9、R5→R12 及 R5→R15，假設上述各組都在最佳換檔時機換檔則四種上檔組合產生的功率變化如表 2 所示，由圖中可知功率變化最低的換檔組合為 R5→R8 其踏速變化($\Delta\omega$)也最小。圖 6(b)為相同齒數下另外一種換檔序列。



(a) 換檔序列 1 (b) 換檔序列 2

圖 6. 相同齒數下不同換檔序列。

表 2. 踏速與功率變化表

	$\Delta\omega$ (踏速)	ΔW (功率)
R5→R8	23%	2%
R5→R9	27%	3%
R5→R12	50%	6%
R5→R15	83%	12%

爲了後續討論的方便，接下來均採用踏速變化($\Delta\omega$)來做爲換檔時機之探討。表 3 所示爲圖 6(a)與(b)換檔序列踏速變化的情形， $\Delta\omega$ 平均值沒有太大差異，但是序列 2 之 $\Delta\omega$ 標準差明顯偏高，亦即騎乘者要忍受較大的踏速變化量，故序列 1 爲較佳之換檔序列。

表 3. 不同換檔序列踏速變化

	$\Delta\omega$ 平均值	$\Delta\omega$ 標準差
序列 1	17.21 %	4.28
序列 2	17.24 %	4.83

四、換檔策略

從美國專利[7,8]可以得知目前市面上的自動變速腳踏車並沒有將人因學帶入換檔策略的設計，所用的換檔策略是以車速與檔位的固定關係來決定何時換檔，也就是說決定換檔的參數只有車速，所以市面上這些自動變速自行車的換檔機制會造成騎士不舒適且沒有效率。

但由 Chien[9]對方程式(4)所作的參數分析發現，決定換檔時機的參數應包含車速、踏速及路面的坡度，再經由以上討論，踏速變化量之大小及標準差亦會影響換檔策略。

假設換檔瞬間車速 V 不變， R 爲齒輪比， D 爲車輪直徑， V 與踏速 ω 之關係式如下述方程式：

$$V = \frac{\omega R \pi D}{60} \quad (5)$$

在換檔前(i)，

$$V_i = \frac{\omega_{l,i} R_i \pi D}{60} \quad (6)$$

在換檔後($i+1$)，

$$V_{i+1} = \frac{\omega_{h,i} R_{i+1} \pi D}{60} \quad (7)$$

在換檔的瞬間，

$$\frac{\omega_{l,i} R_i \pi D}{60} = \frac{\omega_{h,i} R_{i+1} \pi D}{60} \quad (8)$$

上式化簡後可得：

$$\omega_{l,i} R_i = \omega_{h,i} R_{i+1} \quad (9)$$

將 $\omega_{l,i} = \omega_p + \Delta\omega$ 及 $\omega_{h,i} = \omega_p - \Delta\omega$ 帶入方程式(9)中可得：

$$\Delta\omega = \omega_p \frac{R_{i+1} - R_i}{R_{i+1} + R_i} \quad (10)$$

$$\omega_{l,i} = \omega_p \left(\frac{2R_{i+1}}{R_{i+1} + R_i} \right) \quad (11)$$

$$\omega_{h,i} = \omega_p \left(\frac{2R_i}{R_{i+1} + R_i} \right) \quad (12)$$

假設第 i 檔的上檔點車速爲 V_{up_i} ，及第 $i+1$ 檔的下檔點車速爲 V_{down_i+1} 則

$$V_{up_i} = \frac{\omega_{l,i} R_i \pi D}{60} \quad (13)$$

$$V_{down_i+1} = \frac{\omega_{h,i} R_{i+1} \pi D}{60} \quad (14)$$

將方程式(11)及(12)代入(13)及(14)可得：

$$V_{up_i} = \omega_p \left(\frac{2R_{i+1}}{R_{i+1} + R_i} \right) \frac{R_i \pi D}{60} \quad (15)$$

$$V_{down_i+1} = \omega_p \left(\frac{2R_i}{R_{i+1} + R_i} \right) \frac{R_{i+1} \pi D}{60} \quad (16)$$

上述計算換檔點的方式是假設換檔期間速度不變，也就是說執行換檔時沒有花費時間，但實際上是有時間差 Δt 的存在，假設 $V_{m_up_i}$ 爲第 i 上檔點之車速且爲現在整個系統所到達的速度， $V_{m_down_i+1}$ 爲經過換檔時間 Δt 後在第 $i+1$ 檔點之車速， a 爲加速度則：

$$a = \frac{V_{m_down_i+1} - V_{m_up_i}}{\Delta t} \quad (17)$$

將其代入方程式(4)中可得

$$F_w^{\text{e}} = K_A (V_{m_down_i+1})^2 + \left(2K_A V_W + \frac{m}{\Delta t} \right) (V_{m_down_i+1})^2$$

$$+ \left(K_A V_W^2 + mgs + mgC_R - m \frac{V_{m_up_i}}{\Delta t} \right) V_{m_down_i+1} \quad (18)$$

為了使換檔後能量損失最小且讓踏速維持在最佳踏速 ω_p ，所以換檔點要作以下設定：

$$V_{m_down_i+1} = \frac{(\omega_p - \Delta\omega_{m_i})R_{i+1}\pi D}{60} \quad (19)$$

$$V_{m_up_i} = \frac{(\omega_p + \Delta\omega_{m_i})R_i\pi D}{60} \quad (20)$$

並將上述方程式及最佳功率輸出 $\dot{W}_R = 75 W (0.1 hp)$ 代入 $\dot{W}_W = \dot{W}_R \times \eta_m$ 中，則式(18)可得：

$$75\eta_m = K_A \left(\frac{(\omega_p - \Delta\omega_{m_i})R_{i+1}\pi D}{60} \right)^2 + \left(2K_A V_W + \frac{m}{\Delta t} \right) \left(\frac{(\omega_p - \Delta\omega_{m_i})R_{i+1}\pi D}{60} \right)^2 + \left(K_A V_W^2 + mg(s + C_R - m \frac{(\omega_p + \Delta\omega_{m_i})R_{i+1}\pi D}{60}) \right) \left(\frac{(\omega_p - \Delta\omega_{m_i})R_{i+1}\pi D}{60} \right) \quad (21)$$

由(21)式所求得的 $\Delta\omega_{m_i}$ 代入(19)及(20)式中即可求得在修正後第 i 檔的動態上檔點及第 $i+1$ 檔的動態下檔點。

五、系統模擬

在方程式推導完成後便可以撰寫程式，其控制流程如以下所述：

1. 輸入參數，包含騎士的特性、腳踏車的規格及常數係數。
2. 決定本文第三部份介紹之最佳變檔序列，若是單個單變速系統自行車則不用經過此步驟。
3. 透過資料擷取系統即時取得外界環境坡度 s ，並由(21)、(19)、(20)式得到換檔點。

4. 透過資料擷取系統即時地取得現在車速，並與步驟 3 所得到的換檔點比較，若相異則下命令讓制動器換檔，反之則不作動。
5. 若有換檔動作產生，則必須判斷動作是否完成，完成後返回步驟 2，若沒有換檔動作產生，則直接返回步驟 2。

接下來選定 Browning Component Inc.[10-13] 所生產之 4 速自動變速自行車 SmartShift[14] 作為實際模擬的對象。如圖 7 所示分別為最佳踏速為 60rpm、80rpm 及 100rpm 之不同騎士之換檔點並與 Shimano Auto-D 及 Browning SmartShift 原始設定作比較，圖中可明顯得知現有產品換檔點是固定，而本文理論推導者是動態的。圖 8 所示最佳踏速為 80rpm 對不同的坡度改變（分別為-15 度、0 度及 15 度）換檔點之變化。由圖可發現下坡的上檔點比平地時早發生，因為下坡時地心引力為助力減低了騎士所需克服的力量使騎士容易增加速度所以換檔點較早，而上坡的下檔點比平地時快發生，因為阻力增加使得騎士的速度快速下降，所以下檔動作會比平地時快發生。

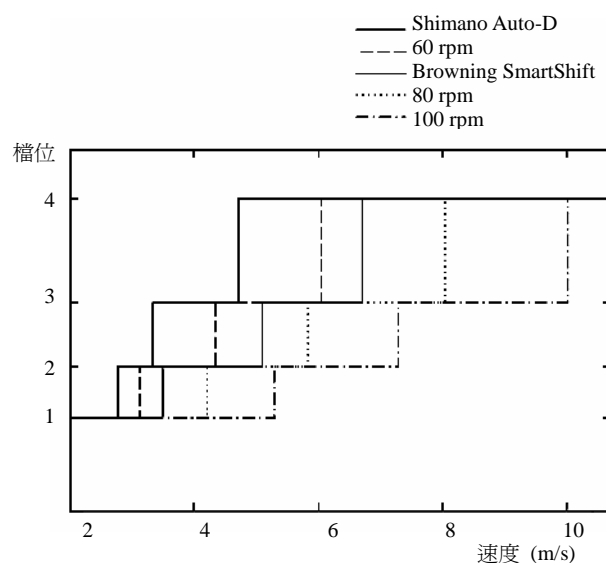


圖 7. 換檔點變動比較圖。

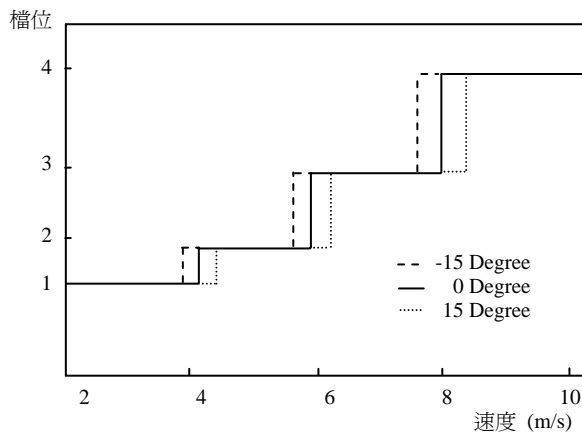


圖 8. 坡度影響換檔點比較圖。

再進一步說明，當上坡 15 度角時，必須確保騎乘者在換檔後能獲得較大扭力輸出，由圖 5 中得知就必須將換檔時機適當延後，換檔後之扭力輸出才會接近最大值，下坡之情形則完成相反。所以由公式推導所得之圖 8 結果，在外界環境變化時完全符合人因工程上之考量。

總之，由實際測試結果可知，由於車速、最佳踏速、最佳輸出功率、及環境因素的綜合考量下，變速系統的運作已經不是侷限於現有自動變速系統的固定換檔點，而是十分人性化，隨騎乘者及外界環境而變化的動態換檔策略。

六、結 論

由於自行車部隊在戰場上有其存在價值，其目的是為了填補徒步步兵與重機械載具之間的缺口。另外機械動力載具的噪音很大且需要整體後勤補給支援，若支援無法隨部隊推進就會產生問題。自行車除了沒有上述缺點外，士兵可以使用自行車行駛於任何地形，後勤補給支援只有食物及消耗零件，對於短期間的任務需求而言可以自給自足，故自行車傳動及變速性能之良窳直接影響到部隊及人員效能之

發揮。

本文以人因工程為解決問題之關鍵方法，由於人因學之研究可以了解到人體的輸出功率必須維持在一定值才能發揮最大的效能，所以透過變速系統所提供的各種齒輪比能使騎士在不同的外界環境下藉由換檔來達到維持最佳踏速及功率輸出之目的。再加上本文將環境因素(地形的變化)納入參數來改善 Wilson 所建議的換檔時機，以符合使騎士維持在最佳踏速之人因學要求亦能減少換檔過程中之能量損失，充分改善市面上的自動變速自行車之問題。

在實際模擬上雖然本文只使用 Browning 四速變速系統針對理論部分加以驗證，未來若能將上述策略撰寫於 21 速以上之變速系統，必能使戰士能透過變速系統所提供的各種齒輪比在不同的外界環境下達到維持最佳踏速及功率輸出之目的，且不用分心於變速系統之操作，如此不但能夠發揮人體之最適效能，並且能使戰士擁有選手般的變速技巧以充分發揮戰力。

誌 謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會經費補助（計劃編號 NSC94-2212-E-014-002）及美國 Browning Component Inc. 設備上之協助，特此誌謝。

參考文獻

- [1] Wilson, D. G., Bicycle Science, the MIT Press, New York, 2004.
- [2] Lin T. Y., A Research in the Tests on Bicycle Derailleur Systems, Ph.D. Dissertation, National Chiao Tung

- University, Taiwan, 1998.
- [3] <http://www.geocities.com/Pentagon/5265/militaryhpvhistory.htm>
- [4] Marr, D., Bicycle Gearing; A Practical Guide, The Mountaineers, 1989.
- [5] Kyle, C. R. and Berto, F., "The mechanical efficiency of bicycle derailleur and hub-gear transmissions," *Human Power*, Vol. 16, No. 52, pp. 3-11, 2001.
- [6] Martin, J. C., Wagner, B. M., and Coyle, E. F., "Inertial-load method determines maximal cycling power in a single exercise bout," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol. 29, No. 11, pp. 1505-1512, 1997.
- [7] Kimura, Y., "Bicycle automatic shift control device with varying shift speeds," United States Patent 6146297, 2000.
- [8] Takeda, K., "Bicycle computer control arrangement and method," United States Patent 6682087, 2004.
- [9] Chien, H. C. and Tseng, C. H., "An Automatic Transmission for Bicycles: A Simulation," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 33, 2004.
- [10] Browning, D. L., "Method and System for Computer Controlled Bicycle Gear Shifting," United States Patent 526858, 1993.
- [11] Browning, B. W., "Shift mechanism for bicycle," United States Patent 5512111, 1993.
- [12] Browning, B. W., "Bicycle transmission," United States Patent 5152720, 1991.
- [13] Browning, B. W., "Bicycle transmission," United States Patent 5073152, 1991
- [14] <http://www.browningcomponent.com/4speed.php>.