

四足仿生機器人之設計與製作

Design and Implementation of A 4-Leg Biomimetic Robot

廖梨君

朝陽科技大學

資訊工程系助理教授

lcliao@cyut.edu.tw

黃琨晏

朝陽科技大學

資訊工程系研究生

josh2126@gmail.com

摘要

本篇論文結合控制電路與蘇格蘭軛(Scotch yoke)機構，設計一以仿蟑螂步態之簡易型四足仿生機器人。本仿生機器人以 51 微處理器產生高態脈波來控制馬達，可以高扭力穩定行走於崎嶇坡段地形，其速度最快可達 2.8m/s，最慢可達 1.1m/s。透過無線傳輸控制，此仿生機器人具 16 種切換角度及 8 段變速，可即時變換行走方向及速度；同時，亦能以機身最小範圍原地左右轉，達到高靈活度之行走。其硬體架構包含 5 顆馬達、無線傳輸模組及馬達驅動控制電路。除此之外，使用者可透過電腦之操作介面發送控制命令，遠端遙控此四足仿生機器人之行動，並將之應用於各種探索情境。

關鍵詞：仿生機器人、馬達、蘇格蘭軛、微處理機。

Abstract

This paper proposed the design and implementation of a 4-leg biomimetic robot. The Scotch yoke mechanism is used to drive the motion of the robot's legs to imitate cockroach gait. This robot contains 5 motors, microcontroller, wireless communication module, electronic stability control device and battery. There are 4 servo-motors to control the robot's moving direction and one brushless motor connecting with Scotch yoke to push-pull the steel wires of legs. Users can wirelessly transmit the demands from the computer to remotely control the robot in time. The experimental results show that this robot can walk on rugged and tilted terrain with the fast and lowest speed of 2.8 m/s and 1.1 m/s, respectively. The robot also possesses variable speed of 8 levels and 16 rolling angles for each motor.

Keywords: Biomimetic robot, motors, Scotch yoke, microcontroller.

1. 前言

近年來隨著科技進步，在生活中，機器人相關產品漸漸成為居家、工業之必需品。機器人的類型可簡單的分為居家型服務機器人及工業型服務機器人兩種，其中居家型服務機器人如圖 1(a)所示為 iRobot 機器人，其為利用簡單的機構設計及撞擊觸發原理，判斷並閃避障礙物之居家清掃型服務機器人。而工業型服務機器人，則用以降低人力成本，並執行較高危險性之工作，同時亦可有效提升工作效率。如圖 1(b)所示為 X-RHex[1]仿生機器人，其主要利用旋轉彎曲止滑腿部特性及三腳步態[2]來克服各類崎嶇障礙地勢之行動，在機身設計上具有可翻面行走、爬行階梯、防水及爬坡等功能。

此外，類仿生之機器人能結合無線通訊、影像、感測器、太陽能應用等技術，使其於生活、醫療、航太、娛樂、工業製造等各種應用

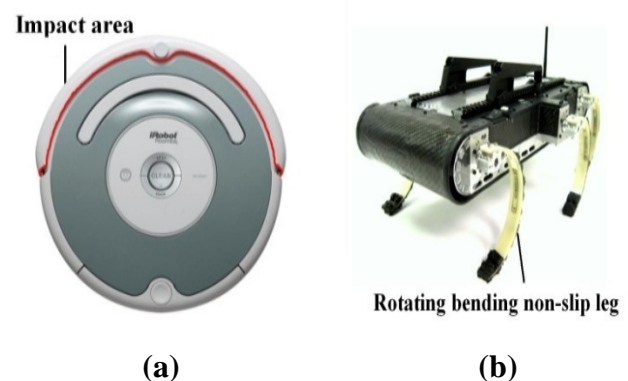


圖 1 居家、工業型服務機器人(a) iRobot 機器人，(b) X-RHex 機器人。

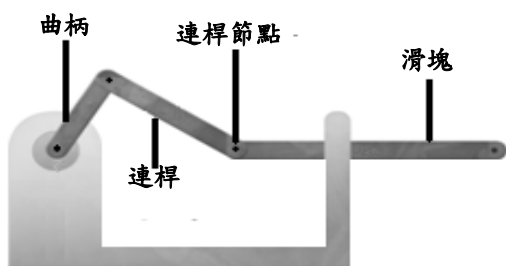


圖 2 滑塊曲柄機構圖。

中發揮最大效益。而運動型態機器人包括輪型、履帶、雙足，甚至多足仿生機器人等，其中如何利用機電整合創造低功耗及低成本為此類機器人之主要設計考量。而機器人機構之穩定性、感測器判斷之準確性與控制核心等，亦為評估機器人效能之重要指標。

機器人之機構設計，則於機器人系統中扮演著重要的角色。其機械結構主要利用一些零組件組裝而成，如曲柄(crank)、連桿(connecting rod)、接頭(joint)、滑塊(slider)、齒輪(gear)、皮帶(belt)、軸承(bearing)等[3]，而這些零組件都有其各自的功能。機器人藉著機械結構的設計，可靈活執行多自由度運動控制，其中如 ASIMO[4]之人型關節驅動機器人、iSprawl[5-7]仿蟑螂步態[8]纜線抽拉式機器人等，皆為整合多種機構設計，以達成多維度運動控制之應用實例。

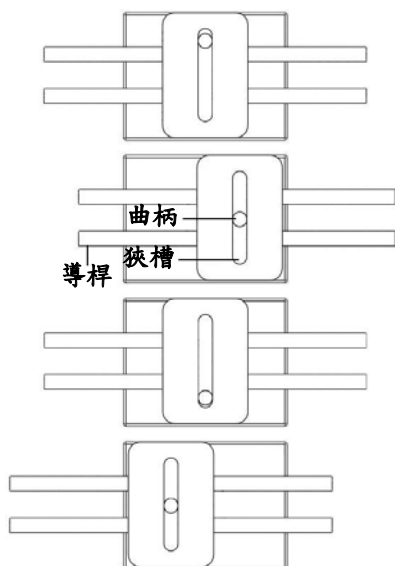


圖 3 蘇格蘭軛機構圖-其中曲柄旋轉帶動狹槽上下運動，使導桿往復水平運動。

而本研究參考 iSprawl 機器人之滑塊曲柄 (slider crank)[9]機構(如圖 2 所示)，並將之改為

蘇格蘭軛機構(如圖 3 所示)，再加上緩衝橡膠阻尼來設計一四足仿生機器人。之前研究所提出之 iSprawl 機器人利用滑塊曲柄機構設計較為複雜，且在高扭力運轉下，需要兩個以上連桿節點，所需零件數較多，其運動重心偏前，相較之下蘇格蘭軛機構[10]則無需連桿節點，機構設計較簡易，重心偏向前後兩端，因此在整體旋轉動作可達最小範圍。因此，本篇論文應用蘇格蘭軛機構，並結合無刷馬達與伺服馬達，設計機構簡單且具多運動維度之四足步態仿生機器人。

2. 四足仿生機器人之系統架構

本研究所設計之四足仿生機器人系統包含硬體驅動及無線傳輸模組、機械結構設計與軟體控制介面，以下便就軟體介面及硬體電路這兩個部份來加以介紹。

2.1 軟體介面設計與使用者控制端

本研究以 Microsoft Visual Basic.NET 2010 設計使用者端之控制視窗介面，如圖 4 所示。使用者可藉由介面上之操作輸出馬達之控制訊號，以控制機器人前進、後退、左轉、右轉、初始或待機等動作，同時，亦可改變伺服馬達之旋轉角度。其無刷馬達之速度共分 8 段，每一顆伺服馬達可有 16 種不同之旋轉角度輸出命令。

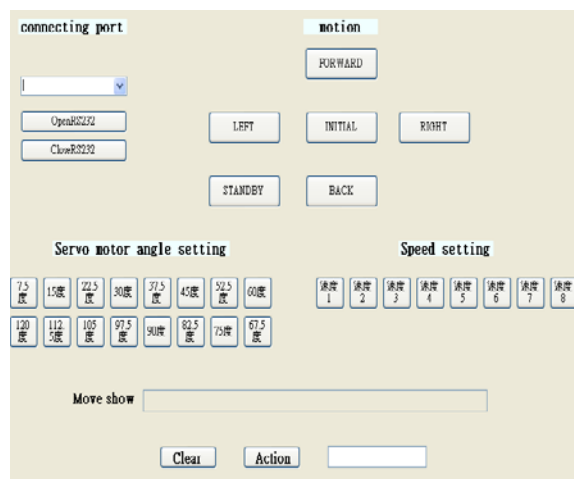


圖 4 控制視窗介面圖，包含可設定通訊連接埠、馬達旋轉角度及速度。

使用者控制端之架構可如圖 5 所示。馬達設定值經由軟體介面設定後，將無刷馬達速度

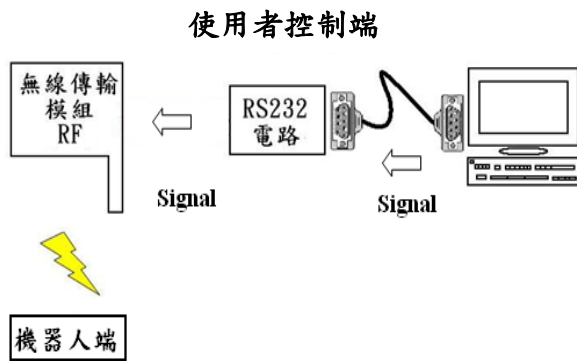


圖 5 使用者控制端之架構。

值及四顆伺服馬達角度值送出，並由無線通訊模組發送訊號至機器人端作接收。

2.2 機器人端硬體架構

如圖 6 所示，機器人端硬體包含四顆伺服馬達，以 Sev 命名、直流無刷馬達(DC brushless motor, BLDC)，以 BLDC 命名、電子變速器(Electronic speed control device, ESC)，以 ESC 命名、微處理器(Microcontroller unit, MCU)，以 MCU 命名及無線射頻模組以 RF 命名。

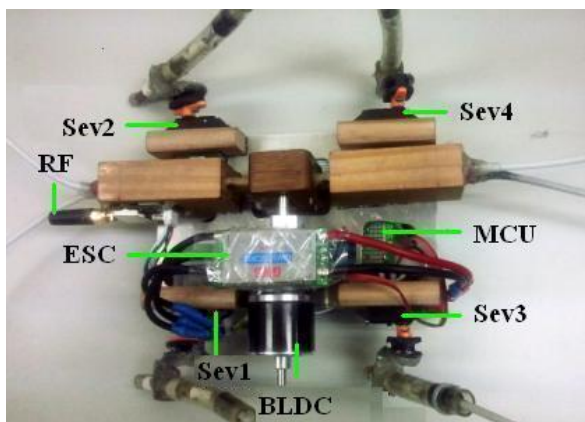


圖 6 機器人端硬體架構包括四顆伺服馬達、直流無刷馬達、電子變速器、微處理器、無線射頻模組。

如圖 7 所示，無刷馬達控制是以無線傳輸模組接收控制訊號後，經微處理器判斷並送出脈波訊號對電子變速器控制無刷馬達轉速。伺服馬達控制則是以微處理器送出之脈波訊號直接驅動伺服馬達之動作，其脈波訊號範圍介於 1ms-2ms 之間。而電子變速器內本身含有降壓電路，因此可提供微處理器、四顆伺服馬達及無線傳輸模組所需之電源。

機器人端

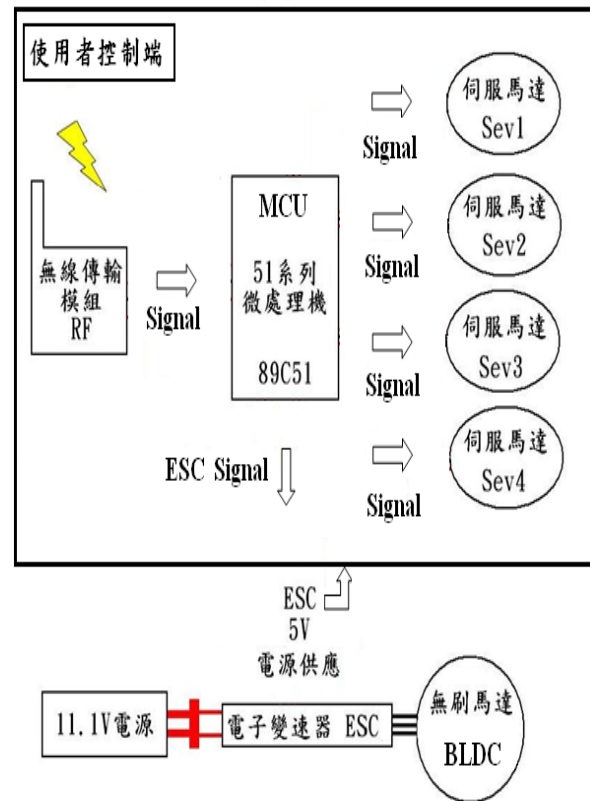


圖 7 機器人端系統架構。

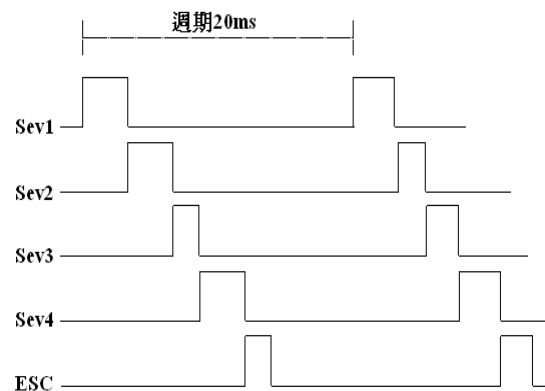


圖 8 四顆伺服馬達及電子變速器分段高態脈波控制訊號。

本研究以 51 系列之微處理器分段產生高態脈波寬度調變如圖 8 所示，控制四顆伺服馬達角度及一顆無刷馬達轉速，而本研究之無刷馬達則以電子變速器控制其轉速。

2.3 驅動電路圖

如圖 9 所示，機器人之驅動電路圖包含微處理器、無線傳輸模組、伺服馬達、無刷馬達及電子變速器。

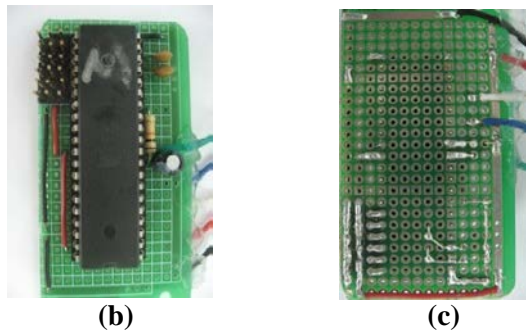
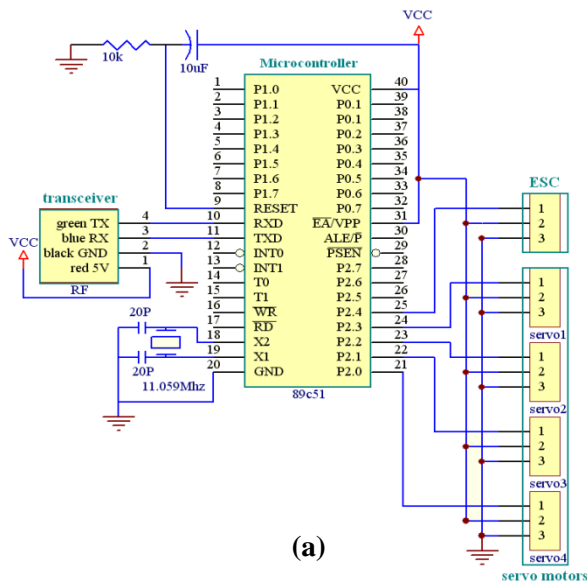


圖 9 機器人端電路(a)機器人端之電路設計圖，(b)機器人端之電路板正面，(c)機器人端之電路板背面。

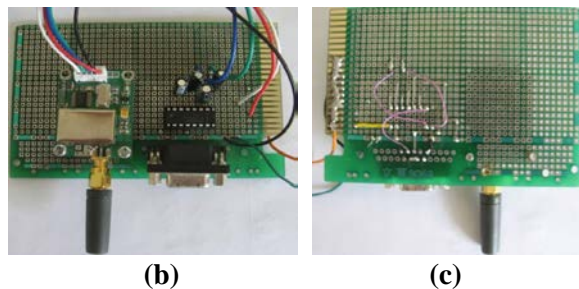
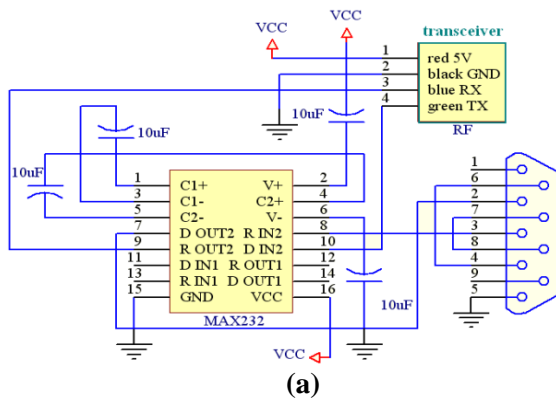


圖 10 使用者控制端之電路(a)使用者端電路設計圖，(b)使用者端電路板正面，(c)使用者端電路背面。

3. 機器人之機器結構設計

本研究使用高扭力無刷馬達結合蘇格蘭軛機構應用，因此在結構上以鋁板作為機器人之乘載底板。當機器人在高扭力行行走下，利用鋼鎖韌性不易斷裂之特性，間接性的傳輸動力，並於伺服馬達擺臂上增加橡皮阻尼作為加速時之緩衝，並改善因在高扭力行行走下，伺服馬達鎖孔崩壞之情況發生。而橡皮狹槽則可增加整體動作之柔軟度，使四足仿生機器人整體動作自然而不僵硬。以下便就每一部份之相關設計作介紹。

3.1 細部機械結構設計

A. 蘇格蘭軛機構設計

蘇格蘭軛機構主要零件包含曲柄、狹槽導桿及卡管三個主要零件，如圖 11 所示。其中無刷馬達帶動曲柄旋轉，並將動能傳至狹槽導桿，使四支導桿帶動四足伸縮動作。而卡管主要用來固定狹槽導桿在運動過程中可保持水平運動。

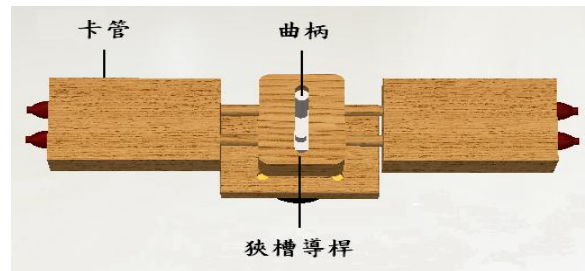


圖 11 蘇格蘭軛之機構設計

B. 四足動力傳輸鋼索管線設計

本研究所使用之動力傳輸鋼索管線包含鋼索、塑膠軟管、網管、固定塞環(如圖 12)四個主要零件。無刷馬達以高力矩轉動曲柄，並推動狹槽導桿，使鋼索帶動四足進行伸縮運動。而本研究於塑膠管外層再包覆一層網管以增加導管之強度，即使在強力撞擊或過大之角度變化時，塑膠軟管仍不易變形或斷裂。

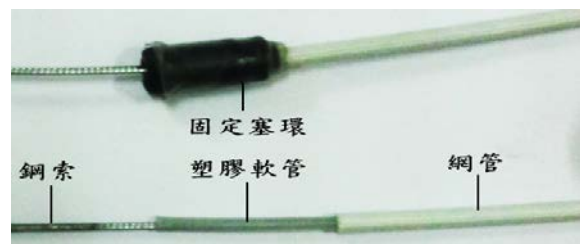


圖 12 動力傳輸之鋼索管線設計

C. 橡皮阻尼狹槽設計

橡皮狹槽設計如圖 13 所示，目的在於減緩伺服馬達鎖孔之崩壞，並可增加四足之柔軟度。而兩端鎖孔之設計主要是將擺臂鎖入兩端鎖孔，固定於橡皮上，使受力點分散至兩端鎖點。

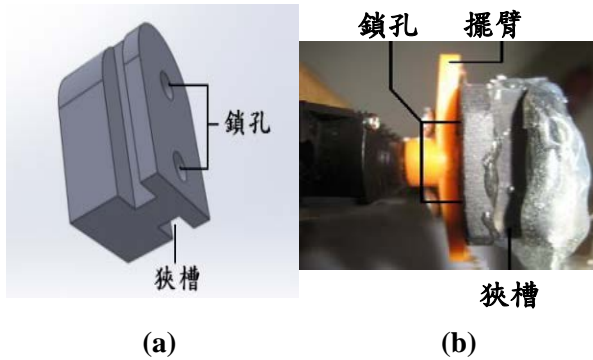


圖 13 (a)橡皮狹槽設計圖，(b)橡皮狹槽實體圖。

3.2 四足仿生機器人之整體設計

如圖 14 所示，為本研究之四足仿生機器人設計圖。

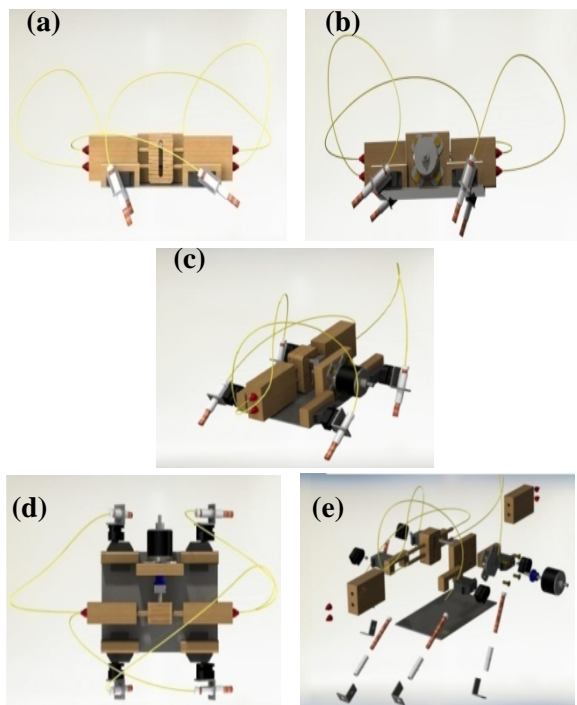


圖 14 四足仿生設計(a)右側面圖，(b)左側面圖，(c)斜側面圖，(d)俯視圖，(e)零件爆炸總成圖。

機器人之實體設計如圖 15-19 所示，其基底以鋁板為材質，並以木頭固定馬達與卡管。而機器人之足部及導桿則以鋁棒製作避免在推拉過程中造成損耗，其中軟性橡膠則作為腳墊；除此之外再使用鋼索作為動力傳輸線，分別以網管及塑膠軟管包覆之。

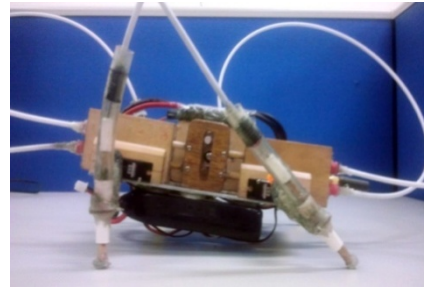


圖 15 四足仿生機器人之右側面圖。



圖 16 四足仿生機器人之左側面圖。



圖 17 四足仿生機器人之俯視圖。

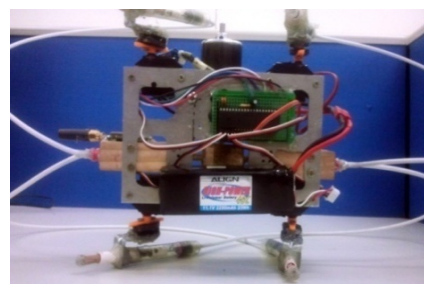


圖 18 四足仿生機器人之背面圖。

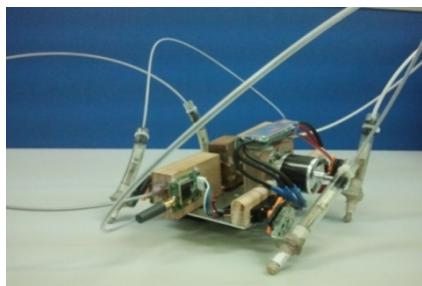


圖 19 四足仿生機器人之斜側面圖。

4. 實驗

本研究實驗透過軟體控制介面發送無線控制訊號，並以攝影機拍攝仿生機器人前進、後退、左轉、右轉 4 個部分，且依據步態、柔軟度、行進角度、速度、地形、坡度分別進行測試其實驗條件如下：

- 1、無線通訊之傳輸速率(Baud Rate)9600bps，最遠可傳輸 200m。
- 2、所需供電為 11.1V，可達 0.5 小時之操作時間。
- 3、四足仿生機器人總重量為 1 公斤。



圖 20 直線前進時機器人起步之步態圖。

A. 傾斜角度測試

正面前進測試如圖 20 所示。從實驗可看出四足仿生機器人於起步時，左右兩側之傾斜角度介於 $\pm 10^\circ$ 之內，其穩定行走後，便呈現蟑螂爬行之平穩狀態。

B. 行走柔軟度測試

側面行進測試如圖 21 所示，當四足角度固定，後腳比前腳偏斜時，此時重心偏向前腳，因此在機器人行走時，橡皮阻尼狹槽設計可使腳部彎曲，使整體動作靈活度更加順暢。前腳最大柔軟度 8° ，右腳最大柔軟度 18° 。

C. 速度測試

速度測試一共分為 8 個級別，而測試結果最大速度為 2.6m/s，最小速度為 1.1m/s。

D. 坡度測試

坡度測試如圖 22 所示，地面傾斜角度約 5° 時，仍可順利行走於斜坡上。

E. 角度測試

角度測試包含左、右轉兩個部分最小範圍原地旋轉如圖 23 所示。而其它較大旋轉範圍，則可依伺服馬達之角度變換作改變，共 16^4 種組合之角度變化。

F. 地形測試

地形測試如圖 24 所示，當機器人向左行走時，四足機器人可行走於凹凸不平之磚塊面且可越過小於 2 公分之間隙。

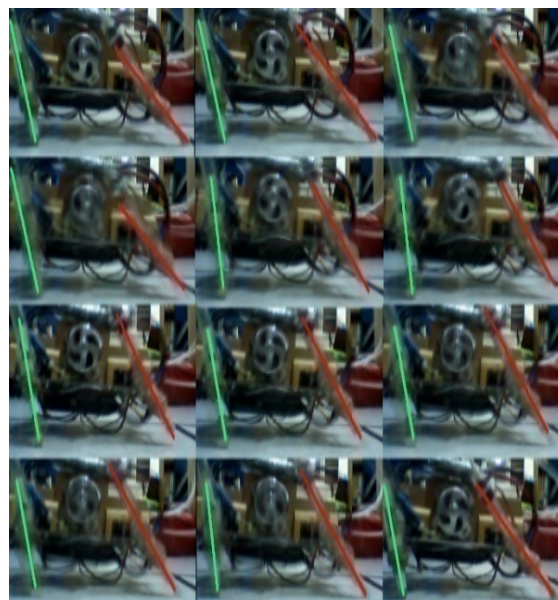
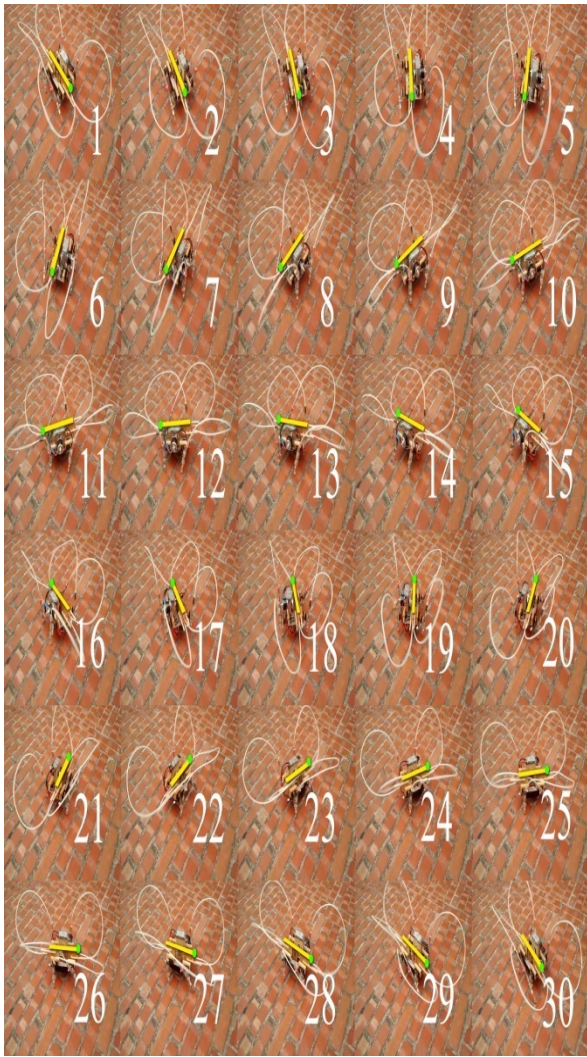


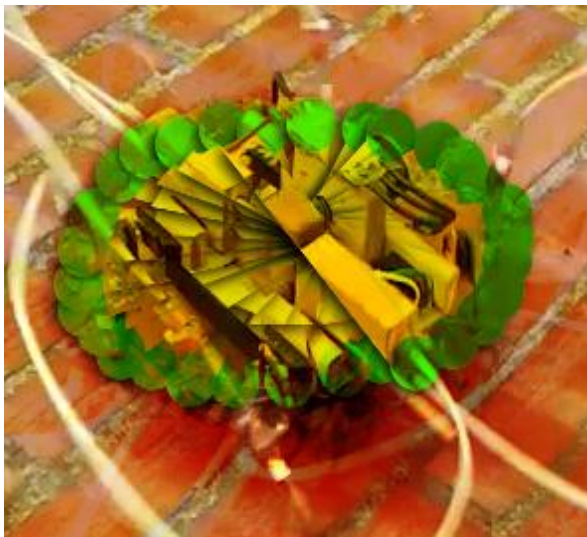
圖 21 柔軟度行進步態測試。



圖 22 地面坡度約 5° 時之行走步態。

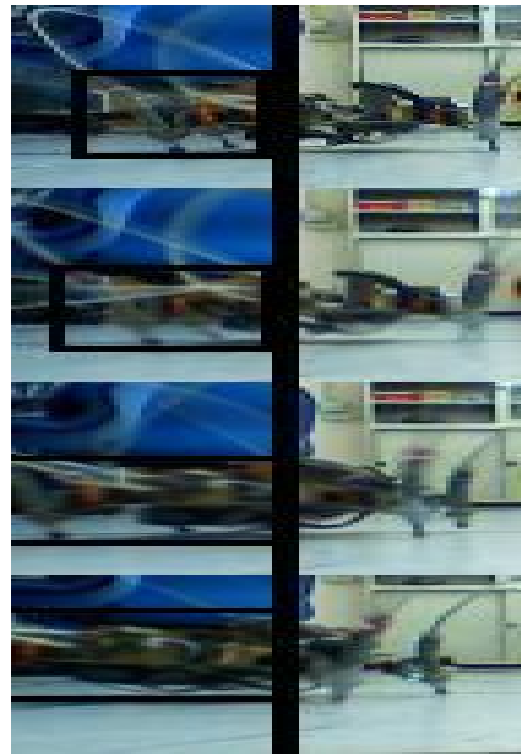


(a)



(b)

圖 23 角度測試(a)最小範圍原地旋轉分鏡圖，
(b)最小範圍原地旋轉圖。



(c)

圖 23 角度測試 (c)右轉動作連續拍攝圖。

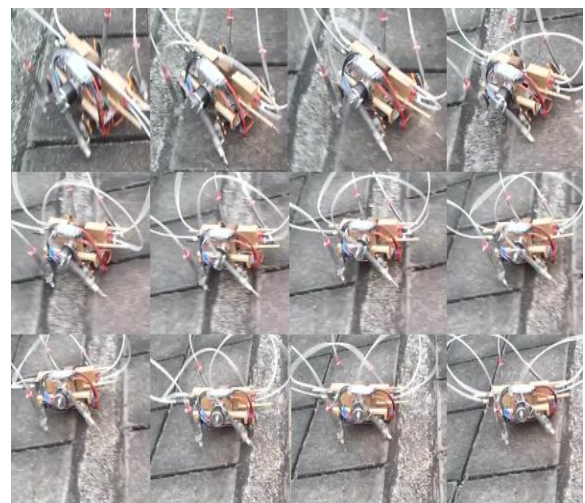


圖 24 機器人於凹凸不平之磚塊面行走圖

5. 結論

本研究設計一四足仿生機器人，可於各種環境中模仿蟑螂之行走步態。其中硬體部分包含微處理器、電源、伺服馬達、直流無刷馬達、電子變速器以及無線傳輸模組。軟體部分以 Microsoft Visual Studio 2010 設計一使用者介面，用以作為遠端控制。

本四足仿生機器人具有以下特性及優點：

1. 在機器人結構上，本研究改變橡皮阻尼狹槽及鋼索管線之設計，亦可改善蘇格蘭軛雙向運動機構設計，以增加整體動態之穩定性。機器人可依不同的動作需求，改變行走速度及角度。其中可以固定中心點作出最小直徑旋轉。
2. 本研究在四足機器人設計上，比 iSprawl 六足機器人的速度快，且具有 8 段變速可供控制。此四足仿生機器人之行走速度最快可達 2.8m/s，最慢 1.1m/s，且可行走於各類崎嶇地形。而機器人之單腳最大柔軟度可達 18° 彎曲，起步行走機身傾斜角度介於 ±10° 之內，亦可行走於坡度 5° 以下之地形。
3. 本系統之硬體部份利用分段高態脈波產生馬達之控制訊號，不會因伺服馬達及電子變速器同時產生高態脈波而失去原有動力及造成微處理器之負荷。軟體部分利用無線模組傳輸訊號，可即時改變機器人之行走角度及速度，使其過彎角度依不同設定而改變。

而本研究在未來可將攝影機與感測器架設於機器人系統上，利用機身旋轉方式擷取探索影像或追蹤物體，同時可將之應用於野外探勘、救災、家庭看護或電子寵物等應用。

致謝：感謝本研究中，陳嘉澤先生於 3D 草圖繪製上之協助。

參考文獻

- [1] K. C. Galloway, G. C. Haynes, B. D. Ilhan, A. M. Johnson, R. Knopf, G. Lynch, B. Plotnick, M. White, and D. E. Koditschek, "X-RHex: A highly mobile hexapedal robot for sensorimotor tasks," University of Pennsylvania, Technical Reports, Department of Electrical & Systems Engineering, on 2010.
- [2] Minglei Sun, Songlin Li, Xiuchun Liu, Rong Zhang and Guanghua Zong, "Tripod gait planning of a rimless-wheeled robot with changeable spokes," in Robotics and Biomimetics(ROBIO). IEEE International Conference on December 2009, pp. 629-634.
- [3] Saitoh M., and Furuta K., "Generalized minimum variance control of slider-crank mechanism," in SICE Annual Conference, pp. 2205-2209.
- [4] Joel Chestnutt, Manfred Lau, German Cheung, James Kuffner, Jessica Hodgins, and Takeo Kanade, "Footstep Planning for the Honda ASIMO Humanoid," in Robotics and Automation. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on April 2005, pp. 629-634.
- [5] Clark J. E., Cham J. G., Bailey S. A., Froehlich E.M., Nahata P.K., Full R.J., and Cutkosky M.R., "Biomimetic design and fabrication of a hexapedal running robot," in Robotics and Automation Proceedings ICRA 2001. IEEE International Conference on 2001, VOL.4, pp. 3643-3649.
- [6] Goran S. - Dordevic, Milan Rasic, and Reza Shadmehr, "Parametric Models for Motion Planning and Control in Biomimetic Robotics," in IEEE Transactions on robotics, VOL. 21, No. 1, pp. 80-92.
- [7] Sangbae Kim, Jonathan E. Clark, and Mark R. Cutkosky, "iSprawl : Autonomy, and the Effects of power Transmission," in Climbing and Walking Robots Proceedings of the 7th International Conference CLAWAR on 2004, pp. 859-867.
- [8] T. M. Kubow, and R. J. Full, "The role of the mechanical system in control: a hypothesis of self-stabilization in hexapedal runners," in Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, on May 1999, pp. 849-861.
- [9] Wikispaces Online Resources Mechanical Inventors <http://mechanical-inventors.wikispaces.com/Online+Resources>
- [10] Wikipedia Scotch Yoke http://en.wikipedia.org/wiki/Scotch_yoke
- [11] Geunho Lee, and Nak Young Chong, "Low-Cost Dual Rotating Infrared Sensor for Mobile Robot Swarm Applications," IEEE Transactions on Industrial Informatics, on MAY 2011, VOL. 7, NO. 2., pp. 277-286.