

仿生多足機器人研發現況

在自然界中，我們看到體型較大、有優秀運動能力的動物像馬、獵豹、羚羊等等都是四隻腳的哺乳類動物，但考慮到穩定性卻是六足比較佔優勢，只要用簡單的三腳步態 (tripod gait) 即可讓重心輕易落在支撐的三角形中。

台灣大學 鄒亞成 林沛群

一、前言

談到足式機器人，當然目前主流大多是聯想到和人相似、有親切感的雙足機器“人”，從某一層面來看，以雙足步行為演化上的一個極為小眾的特例，本身對達到穩定運作控制的困難度很高，從瞭解「生物出生到可以開始自行運動所需的時間」便可以窺知一二。從另一個角度來看，人類所能自在運動的地表也侷限在某一些型態之中，若要探討如何在各式自然地形上運動的法則，勢必得回過頭來探討多足動物的運動機制。而從物理直覺來評析，單就在崎嶇路面上運動的穩定性來探討，採用多足機器人會比較簡單且實際。基於這一些原因，仿生多足機器人的研發便有了背後的動機，模仿經過長時間演化後動物的構造，藉由觀察牠們的運動，了解為什麼有如此的動作，再利用機構或是控制去完成。在自然界中，我們看到體型較大、有優秀運動能力的動物像馬、獵豹、羚羊等等都是四隻腳的哺乳類動物，但考慮到穩定性卻是六足比較佔優勢，只要用簡單的三腳步態 (tripod gait) 即可讓重心輕易落在支撐的三角形中。四足動物的腳可能需要比較大的力量才能表現出他的特性，但人類尚無法仿造出重要的肌肉和控制系統，以現有機構和馬達組成的系統，重量太重而無法有效運動。這時，自由度的選擇以及機構設計便成了一個很重要的課題。

這二、三十年學業界創造出了許多各式各樣的多足機器人，在後續的文章中便為各位讀者進行介紹[2, 3]。

二、學術界開發仿生多足機器人

(1) Quadruped



圖一 Quadruped[4]

由Prof. Marc Reibert所領導的MIT Leg Lab於1984~1987年製作，重38公斤，整體長度1.05公尺，高度0.95公尺，採用長柱狀的腳，每一隻腳連接身體的關節是由兩個液壓致動器 (hydraulic actuators) 組成，分別控制腳的前後及左右的旋轉，腳上有一個線性致動器來提供推進力。在控制上將腳簡易的分成兩組，不同的分組方法便產生了小跑 (trot)、跑 (pace) 和奔馳 (bound) 等三種步態，奔馳可達到3.5個身體長度，有很好的穩定性和運動特性。

(2) Attila & Hannibal



圖二 Hannibal[5]

獨家報導

Micro-rover的計畫，在1990年由MIT Prof. Rodney Brooks所領導的Artificial Intelligence Lab設計和製作，35公分長、15公分高、2.8公斤，兩個機器人只有顏色上的不同，Attila是金色，Hannibal是紅色，總共19個自由度，每隻腳3個，身體的自由度用來確保腳的垂直，當爬上斜坡時讓重心更靠近斜坡表面。因為馬達技術的進步，不需要使用力量較大的氣壓或液壓驅動，不用外接引擎或空壓機，完成了以電池驅動、馬達為致動器的自主足式機器人，設計上強調模組化的系統，並裝了超過60個感測器提供外在環境資訊，並能互相確認提高可靠度。

(3) Sprawl家族

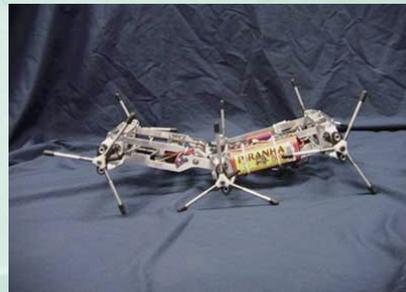


圖三 iSprawl[6]

由Stanford 的Prof. Mark R. Cutkosky主導，U.C. Berkeley、Harvard、Johns Hopkins等大學共同研究，Sprawl 1.0，建造一個每隻腳2個自由度的平台來測試運動、腳部配置和設計，Sprawl系列與其他機器人不同的地方是在腳的設計，為了接近蟑螂在行走時的狀態，讓其在行走時所受的反作用力方向通過關節處，每隻腳有一個氣動活塞（pneumatic piston）控制柱狀接頭對地面施以推力來前進，和一個RC伺服馬達控制旋轉接頭，與身體連結處裝有可鎖住的球接頭來調整腳的位置，伺服馬達的作用類似於被動的扭力彈簧，讓腳保持特定角度，相當於控制2個自由度的機器人（每一組tripod腳）[7]。Sprawlita（Sprawl

version 2），約16公分，0.27公斤，將重心置於較低和偏後的位置，增加運動時的穩定性，也是只用2個雙向閥，RC馬達固定在特定角度，主要是加上一個模仿蟑螂的被動股骨關節（Compliant trochanter-femur joint）使用黏彈性（Viscoelastic）的材料做成被動的關節讓步態更穩定，其速度較Mini-Sprawl快，可達每秒3個機身長[8]。iSprawl，是目前的最現代，前幾代Sprawl家族中的機器人最大的限制為了力量而使用氣動活塞作為主要的動力來源，如果搭載高壓氣體儲存槽則重量太重，所以選擇外接氣體管的方式，因此而沒辦法成為完全自主的機器人，iSprawl使用了馬達作為動力來源，加上特殊能量傳送方式，用雙曲柄滑塊（double crank-slider）的機構和彈性纜線，可以儲存馬達的動能並轉換成線性推拉的能量，他最高速度可達每秒15個身體長，約2.3m/s，成為目前相對於身體長度跑最快的機器人[6]。

(4) Whegs家族



圖四 Whegs II[9]

由在Case Western Reserve University的Prof. Roger Quinn所領導的Biologically Inspired Robotics Lab所研發製作。Whegs I，採用3根相位差120度的鋼條作為腳，稱為wheel-legs，旋轉時類似輪子，但可碰觸大於半徑的高度，且在軸上被動機構中的扭力彈簧施以預拉力，讓Whegs在一般平坦路面的狀態下對側的腳相位差60度，而在越障時兩前腳被動的變為同相，一起施力爬上障礙，最高速達每秒3個機身長[10]。Whegs II，加入了身體的自由度，讓腰可以彎曲，能夠

爬上更高的障礙物，也加上了感測器，能夠自主行動，使用超聲波偵測障礙物，單一發射器，一對展開的接收器，可判斷它的方向[9]。Mini-Whegs，約8~9公分，僅4隻腳，速度可達到每秒10個機身長度的，也做了跳躍、飛行和爬牆版的。

(5) RHex家族

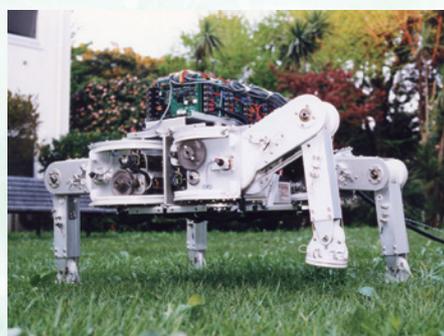


圖五 RHex[11]

美國國防部高等研究計劃局（Defense Advanced Research projects Agency, DARPA）出資，由在The University of Michigan的Prof. Daniel E. Koditschek（目前在University of Pennsylvania）所主導的計畫，參與的學校並有、McGill University、Carnegie Mellon University、University of California-Berkeley、Princeton University、和Cornell University。RHex是一個可以完成非常多不同表現的自主機器人，最高速超過每秒5個機身長度的，可以上下樓梯、45度斜坡、爬過大約2倍腳長的障礙物（20公分）、翻倒時可以自己彈回原狀態、跳躍30公分寬的溝槽等等，RHex每足僅具有單一旋轉自由度，配合使用半圓形且具被動彈性腳的設計，讓運動時動能和彈性位能互相轉換，配合模擬動物特性的彈性倒擺SLIP的模型，這樣的設計架構減小了機構的複雜度，增加了機體的強韌度，也達到省能的效果，直接用開迴路（open-loop）控制即可達到穩定的跑動步態，或利用感測器判斷機身狀態和環境變化來調整步態、決定腳的動作RHex有許多不同的版本，RHex 0.8是使用4桿組成的彈性腳，RHex

1.0開始使用半圓型的腳，RHex 1.2裝有攝影機作即時影像處理，另一版是在腳上裝應變計隨時測量腳的變形、受力狀況[12, 13]，Rugged RHex使用堅固的鋁當外殼，適合行走於各種崎嶇不平的路面，有較大的馬達和電池，為了軍事目的而發展。該平台也作為水下版AquaRHex的基礎，AquaRHex是將腳改成鱗狀，可在水中任意移動，而Wheel RHex是把六隻腳改成輪子。

(6) Titan家族



圖六 Titan VIII[14]



圖七 Titan XI[15]

由Tokyo Institute of Technology的Hirose-Fukushima Robotics Lab所製作，Titan每代都有不同的特色和功用，例如三和四代足底裝有感測器，自動調整與地面接觸的狀態[16]，六代主要是可以在平地的跑動，爬行斜度較大的樓梯[17]，七代可以爬70度斜坡[18]，在這裡介紹第八和第十一代。Titan VIII，1996年開始，此代的腳部機構設計不僅考慮了運動的性能，也要求低價、輕量、簡單化，使用了金屬線作驅動、腳的模組化，馬達控制螺旋滑輪（spiral pulley）帶動金屬

獨家報導

線拉動關節的滑輪，螺旋滑輪上的V型溝槽可增加接觸面積，即使是一般的材料也能承受很大的切線力，達到減輕重量的目的，而且徑向力很小，減少了摩擦力的耗損，金屬線鬆緊調整器（wire tensioner）的設計可以簡單的調整金屬線的鬆緊度[14, 19]。Titan XI，2002年山坡開發需要混凝土框架（concrete frames）的建造，施工的過程很危險也很耗時，希望能有自動化的設備，現在用的履帶式機器雖然有辦法鑽洞、插入岩栓，但沒辦法行進於斜坡或是有高低差的地方，為解決此問題而發展了Titan XI，機器人有7000公斤，腳長3.7公尺，是非常大型的四足機器人，底部有履帶，在平坦路面可以使用，到靠近斜坡時改到四腳模式，使用油壓驅動腳部動作，移動較慢，運用週期性的跨越步態走過混凝土框架，再利用腳來調整鑽孔的姿勢[15, 20]。



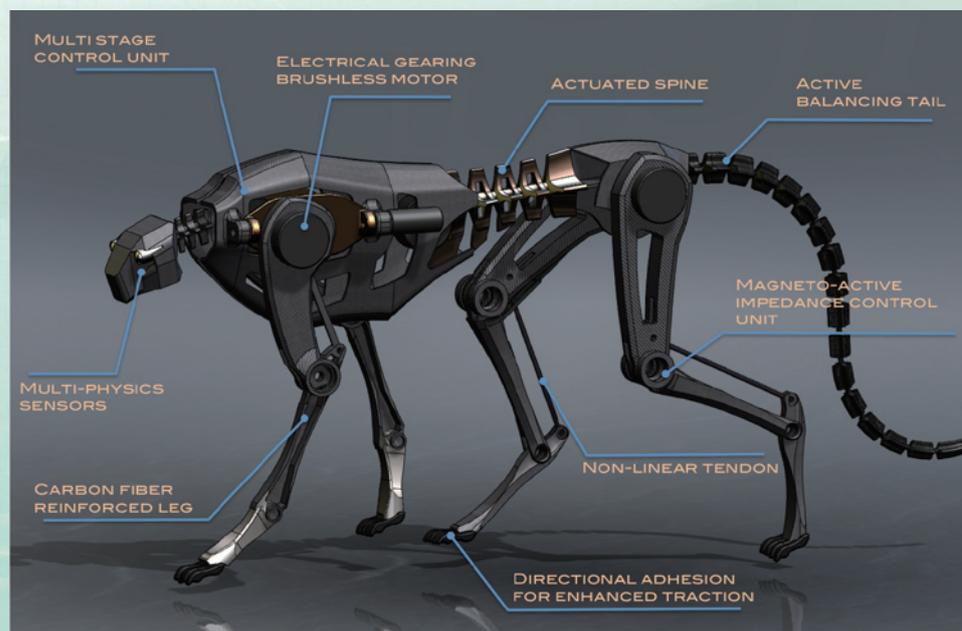
圖八 Scout II[21]

(7) Scout家族

由在McGill University的Prof. Martin Buehler（目前在iRobot Inc.）所領導的Ambulatory Robotics Lab製作，Scout I是簡化的四足機器人，每隻腳只有一個自由度，可走路、轉彎、爬樓梯。Scout II主要使用特殊的彈跳步態前進，藉由前後腳差一相位的小角度擺動前進，身體pitch方向會因相位差而擺動，從起始狀態開始經過2、3秒可達1.2 m/s之穩態速度，利用角度調整可以使其轉彎[22]。PAW，改良自ScoutII，腳的底部加上主動輪，在平坦路面時即可用4輪前進，較崎嶇的地形時可以鎖住輪子，改成ScoutII的步態[23]。

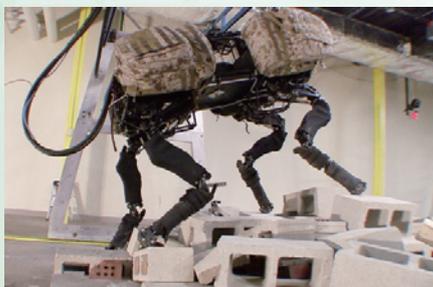
(8) Hyper dynamic quadruped robotic platform

由MIT的Prof. Sangbae Kim所領導的biomimetic robotics lab正在研製的平台，頭部放置多個感測器，背部有多階段控制單元，髖關節使用電傳動的無刷馬達，有可驅動的脊椎、主動平衡的尾巴，膝蓋裝有磁制動阻抗控制單元，腿部有非線性肌腱，使用碳纖維強化，為增加推進力（牽引力）腳底使用定向黏附技術，著地時可很穩的黏住地面不打滑，脫離時卻可輕易脫離[24]。

圖九
Hyper dynamic quadruped robotic platform[24]

三、業界開發仿生多足機器人

(1) BigDog



圖十 BigDog[25]

由美國Defense Advanced Research projects Agency (DARPA) 出資，由Boston Dynamics Inc. (BDI) 的Dr. Marc Reibert (前MIT Leg Lab主持人，後離職成立BDI) 主導，與Foster-Miller、NASA Jet Propulsion Lab、和Harvard University Concord Field Station共同於2005年開始研發，屬於業界和學術界合作的計畫。主題在開發無人載具，希望能和士兵在車輛無法行徑的路面共同作戰。機器人長度0.92公尺、高0.76公尺、110公斤，能以時速6.4公里穿越崎嶇地形，最大載重150公斤，爬上35度斜坡，使用引擎作為動力來源，每隻腳有4個液壓缸，利用hip的扭力調整身體的姿勢，由4隻腳的觸地位置控制側向的速度，比較起其它機器人，BigDog行走時具有極高的穩定性，遇到衝擊偏斜時能立即調整腳的觸地位置保持身體平衡，還夠做出像馬一樣的跳躍方式，達到很高的高度，另外，BigDog可以利用雷射自動跟隨穿有反射標記 (retro-reflective marker) 的領導且保持一定距離，加上立體視覺系統偵測環境，之後要將所有的功能都在同一隻BigDog上完成。

(2) LittleDog



圖十一 LittleDog[26]

也是由美國DARPA出資，由BDI製作較小型的四足機器人，提供學界用來研究動態控制、感測環境避開危險和崎嶇路面的運動狀態，它每隻腳都各由3顆馬達來做控制，感測器用來量測關節的角度、電流、身體方向和與地面的接觸[26]。

(3) Aibo



圖十二 Aibo[27]

Aibo是Sony公司推出的機器狗，總計銷售了約14萬台，成功的開創了娛樂機器人的市場。在1999年推出了第一代，價格高達262500日圓，共有18個活動關節，它能夠表達各種情緒，模仿動物做各式的動作，透過感測器 (溫度、紅外線、壓力感測器等等) 可感測外界的刺激，與人作互動，擁有人工智慧的系統，可以培養習慣，之後的幾代增強了活動的靈活性、聽覺、反應能力，還有拍照、自己充電等功能，透過無線網路遠端下指令，還可以利用軟體創造出獨一無二的動作[28]。

(4) Forest Walker



圖十三 Forest Walker[29]

獨家報導

Pulstech Oy (John Deere子公司) 研發大型的六足機器人，用來行走在森林中，操控者可在上面控制機器人行進方向，腳的移動則是自動的，移動起來很緩慢，一次通常只移動一到兩隻腳，與一般六足動物的tripod gait不同，腳踝的關節讓踏在崎嶇或傾斜的路面上時腳底可以順勢貼附於地面上，適應不同路面，增加穩定性，若身上搭載工具(如：怪手)則可幫助人們在坡地上工作。

(5) Pleo Dinosaur



圖十四 Pleo[30]

Ugobe公司於2006年發行，約350美元，Pleo有三個時期，孵化、嬰兒期和少年期，會隨著和人相處而培養截然不同個性，它也有許多感測器，和其他機器寵物不同的地方主要是在情感方面，強調與人的關係連結，情緒展現，行走時會自己使用多種行徑方式，和別隻Pleo也會有互動。(在2009年4月宣告破產的美國Ugobe公司之代表產品Pleo，由香港商鎮泰集團 (JETTA) 所屬的Innov Lab接手研發。)

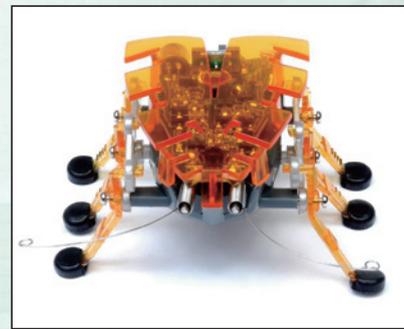
(6) Robotics RoboQuad



圖十五 Robotics RoboQuad[31]

Wowwee公司的產品，約300美元，頭部靈活旋轉，偵測較大的範圍，遇到障礙會自動避開或站立，能向各個方向移動，有四種模式：遙控、自動、保衛、睡覺，能展示預先寫好的跳舞程式，內含3種個性的設定：活動activity、攻擊aggression、感知awareness，會展現不同的活動力，有3種行走方式[32]。

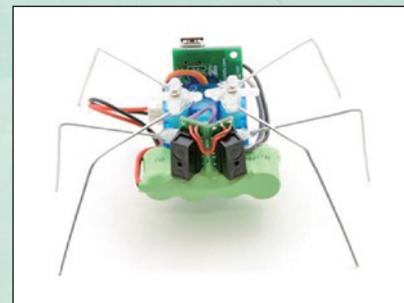
(7) Hexbug alpha



圖十六 Hexbug alpha[33]

Innovation First公司製作的小型六腳機器人，價格約美金12元，6公分長，兩顆馬達各控制一邊的三隻腳，固定單邊的腳，另一邊的腳前進或後退可以轉彎，裝有觸碰感測可以幫助避障、聲音感測器可以接收外界聲響而轉彎[33]。

(8) Simple Hexapod Robot



圖十七 Simple Hexapod Robot[34]

Pololu公司製作的小型六足機器人，約5公分高，只要用一些簡單的零件搭配Micro Maestro套件就可以自己組裝完成，大概需花費72美元，使用3顆伺服馬達控制，單邊的前後腳一組，中腳一

組，中間腳的伺服馬達是用來控制哪邊中腳要著地，前方有2個距離感測器幫助避障，可以前進、後退、轉彎，步伐與一般六足機器人不同，前進時是將一邊中腳著地，變成tripod支撐狀態，同邊的前後腳往前，對邊往後，以落地支撐的中腳為之點旋轉，再換成另一邊中腳作相同步驟，後退則相反，轉彎是在一邊中腳著地時用前進步態，另一邊中腳用後退步態，達成身體的轉向[34, 35]。

(9) Zoids



圖十八 Zoids[36]

日本Tomy公司（現在是Takara-Tomy）製造，簡單的模型玩具，需要自己組合，有的是上發條的，有的是用電池驅動的，也有出可以遙控的，價格從幾百台幣到幾千台幣都有，大多是用一個致動器，經由連桿的方式使腳移動，四足和二足的最多，四足也都是用對角線的腳為一組，類似拖行的方式前進，大多四隻腳都會同時觸地。

(10) BH3R



圖十九 BH3R[37]

Lynxmotion公司製作，約700美元，此種腳的配置方式較類似蜘蛛，不過只有6隻腳，以中心點的點對稱型式，前後左右都可以用相同的tripod gait步態行走，或用一次動一隻腳的步態前進，可以

原地旋轉，因為每隻腳都有3個自由度，使用者可以搭配出任意的動作和姿勢，也能夠遠端遙控。可以利用模組化後的材料組成屬於自己的機器人。

(11) LEGO MindStorms NXT



圖二十 LEGO MindStorms NXT[38]

丹麥的LEGO公司自2006年開始量產，是一個高度模組化的玩具，經由不同的組裝可以創造出各式各樣可程式的系統，NXT讓年齡層低至小學使用者也都能輕易上手，來快速製作出一個機器人平台，再利用NXT-G圖形化的程式語言寫出控制機器人的程式，不需要昂貴的器材和專業的知識就可以做出許多功能的機械，當然也包括了多足機器人。以下簡介一些由網路上擷取到由NXT製作的多足機器人。Hexapod Walker，用兩顆馬達各控制對角線的一組腳，另一顆馬達控制中間兩隻腳，步伐與前面的Simple Hexapod Robot相同，可利用光感應器偵測目標光源，朝向光源走，當光源移動時也能做跟隨，再加上超音波判斷距離，是否到達目標[39]。NXT Coyote，利用對角的兩隻腳一起前進，因為四足行走時較難維持穩定，使用拖行的方式，讓四隻腳一直維持與地面接觸，步伐非常小，所以行走速度較慢。



圖二十一
NXT Coyote[40]

(12) Bioloid Multi-bot

圖二十二 Bioloid[41]

由韓國的Robotis公司製造，一組約900美元，適合於教育用途，許多機器人競賽所使用的套組，由模組化的Dynamixel伺服馬達搭配陀螺儀（Gyro）、距離感測器、紅外線物體偵測器等組合成各式的機器人，配合軟體設定出不同運動方式、穩定的動作。

四、結論

六足很容易達到穩定步態行走，可用簡單的構造製作成六足機器人，而四足必須用半拖的方式前進。但在市售的玩具中，因為大家比較喜歡像小狗的四足機器人當寵物，為達到步行目的大多具有很高的複雜度，造型也特別加以設計，裝設各式感測器以強調和人們的互動。雖然六足在運動上很穩定，但或許由於對於寵物的既定印象，並沒有六足類的機器寵物問市。

上述介紹的這些仿生多足機器人都各自有自己的特色和目標，經過不斷的研究、嘗試、改正，相信均會有所進步、更接近想要達到的表現。暫且不論仿生的意義性或是必要性，生物具有許多特色是值得我們學習的，或許人類未來能夠開發和生物完全不一樣卻勝過生物特性的機器人。但在那之前，多了解瞭解生物系統一些特別與奧妙的結構與機制可以激發我們更多的想法，提供一個比無目標不知所措的研發路途要更具體更有效率的路徑地圖。

由於這些年來各式元件如馬達、處理器、感測器等品質的進步，以及系統整合能力的提升，仿生多足機器人已具有基本自主運動的性能。仿生多足機器人的研究具有數個意義：一為探索自然界生物運動的機制，使我們更進一步瞭解生態系的運作，保持未來人與自然共存所在地球村的共榮；二為提供一個開發崎嶇地運行機器人或載具的可行路徑，使人類在盡量不變更環境的狀態下達到移動的目的；三為提供娛樂、保全、軍事、或救災的需求；四為教育，藉由組裝與控制機器人，達到對學生進行系統整合的訓練，同時也使學理實務化，培養現今電腦虛擬世界之外的另一個學習途徑。在學界方面，不停的開發各式的多足機器人，以滿足上述各個目的。或許由於科技難度非常高以及成本的因素，在業界方面，除了由政府出資的BigDog和LittleDog之外，大多的機器人是娛樂和教育為導向，目前尚未有以其它商業用途的平台出現。雖然如此，仿生機器人至今僅發展約二三十年，所展現出的成果已不容小覷，很難去預想再加上一倍的時間後，未來會是如何？

參考文獻

1. Wikipedia. Wheel. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wheel>.
2. 林沛群, 仿生機器人之兩三事. 機械月刊, 2009(404): p. 62-75.
3. 林沛群, 關於足式仿生機器人的一些想法. 機器人產業情報報告, 2010(44).
4. Raibert, M., Legged Robots That Balance 2000: MIT Press
5. Angle, A., Design of an artificial creature. 1991, MIT.
6. Kim, S., J.E. Clark, and M.R. Cutkosky, iSprawl: Design and tuning for high-speed autonomous open-loop running. International Journal of Robotics Research, 2006. 25(9): p. 903-912.
7. BDML. Sprawl 1.0. Available from: <http://bdml.stanford.edu/biomimetics/documents/largesprawl/version1/>.
8. Cham, J.G., J.K. Karpick, and M.R. Cutkosky, Stride period adaptation of a biomimetic running hexapod. International Journal of Robotics Research, 2004. 23(2): p. 141-153.

9. BIRL. Whegs™ Robots. Available from: <http://biorobots.cwru.edu/projects/whegs/whegs.html>.
10. Schroer, R.T., et al. Comparing cockroach and Whegs robot body motions. in IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2004.
11. Saranli, U., M. Buehler, and D.E. Koditschek, RHex: A simple and highly mobile hexapod robot. International Journal of Robotics Research, 2001. 20(7): p. 616-631.
12. Lin, P.C., H. Komsuoglu, and D.E. Koditschek, A leg configuration measurement system for full-body pose estimates in a hexapod robot (vol 21, pg 411, 2005). IEEE Transactions on Robotics, 2005. 21(4): p. 778-778.
13. Lin, P.C., H. Komsuoglu, and D.E. Koditschek, Sensor data fusion for body state estimation in a hexapod robot with dynamical gaits. IEEE Transactions on Robotics, 2006. 22(5): p. 932-943.
14. Arikawa, K. and S. Hirose. Development of quadruped walking robot TITAN-VIII. in Intelligent Robots and Systems '96, IROS 96, Proceedings of the 1996 IEEE/RSJ International Conference on. 1996.
15. Lab, H.-F.R. Quadruped Walking Robot for Steep Slope Operation "TITAN XI". Available from: http://www-robot.mes.titech.ac.jp/robot/walking/titan11/titan11_e.html.
16. Lab, H.-F.r. Quadruped Walking Machines "TITAN III and TITAN IV". Available from: http://www-robot.mes.titech.ac.jp/robot/walking/titan4/titan4_e.html.
17. Lab, H.-F.r. Quadruped Walking Machine "TITAN VI". Available from: http://www-robot.mes.titech.ac.jp/robot/walking/titan6/titan6_e.html.
18. Lab, H.-F.R. Quadruped Walking Machine to Climb Up Slopes "TITAN VII". Available from: http://www-robot.mes.titech.ac.jp/robot/walking/titan7/titan7_e.html.
19. Lab, H.-F.r. Commercialized Quadruped Walking Vehicle "TITAN VII". Available from: http://www-robot.mes.titech.ac.jp/robot/walking/titan8/titan8_e.html.
20. Hodoshima, R., et al. Development of TITAN XI: a quadruped walking robot to work on slopes. in Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on. 2004.
21. Buehler, M., et al., Dynamic Locomotion with One, Four and Six-Legged Robots. Journal of the Robotics Society of Japan, 2002. 20(3): p. 15-20.
22. Poulakakis, I., J.A. Smith, and M. Buehler, Modeling and experiments of untethered quadrupedal running with a bounding gait: The Scout II robot. International Journal of Robotics Research, 2005. 24(4): p. 239-256.
23. Smith, J.A., I. Sharf, and M. Trentini, PAW: a Hybrid Wheeled-Leg Robot, in IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2006. p. 4043-4048.
24. MIT. Hyper dynamic quadruped robotic platform. 2010; Available from: <http://web.mit.edu/sangbae/www/research.html>.
25. BDI. BigDog - The Most Advanced Rough-Terrain Robot on Earth 2010; Available from: http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html.
26. BDI. LittleDog - The Legged Locomotion Learning Robot. Available from: http://www.bostondynamics.com/robot_littledog.html.
27. SONY. Welcome to Shanie's AIBO Website. Available from: <http://www.sonyaibo.net/home.htm>.
28. 機器人世界情報網. 科技與玩具結合新商機－教育娛樂機器人. 2007; Available from: http://www.robotworld.org.tw/index.htm?pid=10&News_ID=669.
29. Meng, Y., Introduction to Autonomous Mobile Robots. p. 24.
30. Ugobe. What is Pleo? ; Available from: <http://www.pleoworld.com/discover/emotions.aspx>.
31. WowWee. ROBOQUAD. Available from: <http://www.wowwee.com/en/products/toys/robots/robotics/robocreatures/roboquad>.
32. 機器人世界情報網. Roboquad. 2008; Available from: http://www.robotworld.org.tw/index.htm?pid=8&News_ID=342.
33. Labs, I.F. Original HEXBUG: Alpha Available from: <http://www.hexbug.com/original/original-hexbug-alpha.html>.
34. Pololu. Sample Project: Simple Hexapod Walker Available from: <http://www.pololu.com/docs/0J42/all#4>.
35. Pololu. Pololu Projects and Examples Available from: <http://www.pololu.com/resources/pololuprojects>.
36. Tomy. Takara-Tomy's official Zoids site GZ-003. Available from: <http://www.takaratomy.co.jp/products/zoids/products/toy/gunesis/gz003.html>.
37. Lynxmotion. BH3-R. Available from: <http://www.lynxmotion.com/c-100-bh3-r.aspx>.
38. LEGO. LEGO Mindsotrms NXT. Available from: www.lego.com.
39. LEGO, Hexapod Walker in The NXT STEP - LEGO® MINDSTORMS® NXT Blog
40. LEGO, NXT Coyote, in The NXT STEP - LEGO® MINDSTORMS® NXT Blog
41. Robotis. Bioloid. Available from: www.robotis.com.