



以基礎模型 開發多足機器人 之動態步態

Model-based Dynamic Locomotion on Legged Robots

黃群凱 黃科融
胡家睿 鄒亞成

國立台灣大學
機械工程學系

林沛群

國立台灣大學
機械工程學系
副教授

關鍵詞(Keywords)

- 足式機器人 Legged Robots
- 簡化模型 Reduced-Order Models
- 動態步態 Dynamic Gaits

摘要(Abstract)

仿生機器人為近年如火如荼發展的新興領域之一，除了在應用面希望能以人造系統達到如生物般在各式地形上敏捷強韌的運動模式之外，在學理面實為探討高自由度系統的設計與控制問題。由於現階段工程技術上軟硬體的限制，再加上學研面也仍對高自由度系統的操作方式尚未有明確想法，目前高自由度仿生機器人的步態生

成，除了以機器學習方法進行之外，另一較具機制探索性的方式，則是採用低自由度基礎模型的動態特性，作為高自由度機器人步態生成的依據。本文依循後者架構，配合實驗室現有六足 RHex-style 機器人，討論如何以各式簡化模型，來誘發機器人上各式動態步態。由於模型之低自由度特性，可對模型進行動態分析與穩定性探討，找出模型中可適合機器人之操作法則與落地條件，後續則更進一步將分析結果實際架設在機器人上，以確認這個模式下生成機器人動態步態的可行性，成功的讓足式機器人產生動態之三腳跑步步態(tripod running gait)、爬階步態(step climbing)、飛躍步態(leaping gait)、蹦跳步態(bounding gait)、以及彈跳步態(pronking gait)等。

Recently, bio-inspired robotics has become one of the hot emerging fields. In addition to the goal of



generating animal-like dynamic and agile behaviors on the artificial platforms, in reality, bio-inspired robotics is also an important media for researchers to explore the design and control issues of high degree-of-freedom (DOF) systems. Because of the constraints imposed by the current technology as well as the limited understanding of how to handle high DOF systems, researchers usually use machine learning techniques to automatically generate the functional gaits on the bio-inspired robots, but deep understanding of locomotion mechanism remains unknown. Here, we report on the development of generating dynamic behaviors on the bio-inspired robot based on the simple and reduced-order models. By analyzing the stability properties of the models, the proper control strategy and adequate touchdown conditions for the robot to perform dynamic behaviors can be found. The control strategy was implemented on the experimental robot, and the empirical RHex-style robot, a hexapod robot with half-circular legs, and can indeed perform stable tripod running gait, step-climbing gait, leaping gait, bounding gait and pronging gait.

1. 前言

對仿生機器人而言，要達到如同自然界中動物一般靈活且動態的運動仍是個艱鉅的挑戰。動物如何演化成至今的形態，以及牠們如何協調其高自由度之主、被動關節以展現出動態行為，對

科學家而言仍是個亟需探索的謎團。生物學家 Full 教授以及機器人學者 Koditschek 教授提出了一個假說[1]：一個包含複雜結構、高自由度與多致動關節之系統(或稱為「錨(anchor)」)的主要動態特性，均可以使用簡化的動態模型來描述(或稱之為「基礎模型(Template)」)。此一法則提供了一個有效的途徑來解決高自由度與高耦合性的複雜系統之動態問題，許多研究團隊也已運用此假說為架構，建立機器人之控制法則[2-5]。

在此，我們開發簡化模型並研究其動態特徵與穩定性，並將其運用於控制實驗室的六足機器人平台(如圖 1 所示)產生各種動態步態，達成以簡化模型為基礎模型產生機器人之動態運動之目的。首先，開發出一個具滾動介面之彈性倒單擺模型(rolling SLIP model, R-SLIP model)，以符合六足機器人之半圓形腳的動態特徵與穩定性，並且以此模型為基礎模型，藉由探索模型的週期性穩定性操作點，來誘發六足機器人之動態跑步步態。同時，透過動態擷取系統(ground truth measurement system, GTMS)的量化驗證，確認機器人能以單純的開迴路(open loop)的控制，在五種不同速度的測試步態中，均能成功的展現出跑步的動態模態。除了前述週期性穩態步態之外，生物也能展現許多複雜的運動模式。因此，本文也探索兩種「操作用複雜模型」，如用來生成機器人爬高階步態之「三足運動模型(three-leg kinematic model)」，以及生成機器人飛躍步態之「三足動態模型(three-leg dynamic model)」。除此之外，我們也繼續將屬於「週期性穩態模型」之滾動彈性倒單擺模型(R-SLIP model)加以延伸。首先，基於現實世界中系統能量不守恆的特性，我們而開發出

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】388期・104年7月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw