

多機器人系統編隊控制研究

Formation Control of Multi-Robot System

鄭人豪^{1*}、葉佳榮²、張禎元³

¹ 工研院機械所 智慧機器人技術組 物流機器人系統部 副研究員

² 工研院機械所 智慧機器人技術組 物流機器人系統部 工程師

³ 國立清華大學動力機械工程學系 教授

摘要：啟發自生物界螞蟻雄兵的協同合作搬運，期望讓工廠用的自動導引載具能夠打破尺寸大小的限制，協同組合工作，提升工廠自動化、產線上的彈性。此研究設計一個主從編隊的控制架構，能夠讓多機器人維持隊形，並同時移動至目的地。最後，以機器人作業系統 (Robot Operating System, ROS) 與 Gazebo 平台模擬、驗證其結果。

Abstract : Inspired by the collaboration of ants in nature, it is expected that Automated Guided Vehicles (AGVs) used in factories can break the size limit and work together to improve the flexibility of factory automation and manufacturing. In this study, a leader-follower formation control architecture that allows multiple robots to maintain a formation and to move to the destination at the same time is developed, discussed and validated. Finally, Robot Operation System (ROS) and Gazebo simulator are adopted to verify the proposed control architecture. The simulation results with the proposed method demonstrate the formation control performance.

關鍵詞：多機器人、編隊控制、機器人作業系統

Keywords : Multi-robot, Formation control, Robot operating system

前言

多機器人系統 (Multi-Robot System, MRS) 通常比單機器人系統多一些優勢，例如：少數模組或部分機器人故障時不容易導致整體任務中止，可因應任務或環境變化調節或組織不同執行功能。這讓許多複雜的應用問題獲得更多彈性解決方案。

在 1980 年代早期的研究中，研究人員開始透過觀察模仿自然界的蜂群、蟻群或是探討人類之間如何共同執行任務而提出各種演算法。這些早期研究促使多機器人系統得以實際應用於許多不同領域中，如監視、搜索和救援、收集、探索、協同搬運等。

參考 [1] 將多機器人的應用分為六大領域：

- 監視、搜索與救援

隨著無人機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)

的發展，多機器人監視應用的範圍逐漸由室內擴展至偏遠山區或海上。近年來諸多地震、海嘯及核能事故都可見到研究人員使用先進的多機器人系統進行搜索和救援。

- 收集和群體行動

大範圍隨機分佈於不規則地表的物件通常無法使用大型機具進行系統化有效率的收集任務。此時多機器人系統模擬蜂群覓食特性的集群智慧 (Swarm Intelligence, SI) 演算法便可發揮作用。例如基於粒子系統 (Particle system) 的類鳥群 (Boids) 行為規則模型使得多機器人系統中的成員在群體行動中可以遵循方向並與群體保持距離避免碰撞。

- 編隊和分佈

在編隊應用中，機器人團隊必須保持一些嚴格的安排，同時避開其路徑上的障礙。這個問題變得比群體行動更複雜，因為必須集體編隊避免

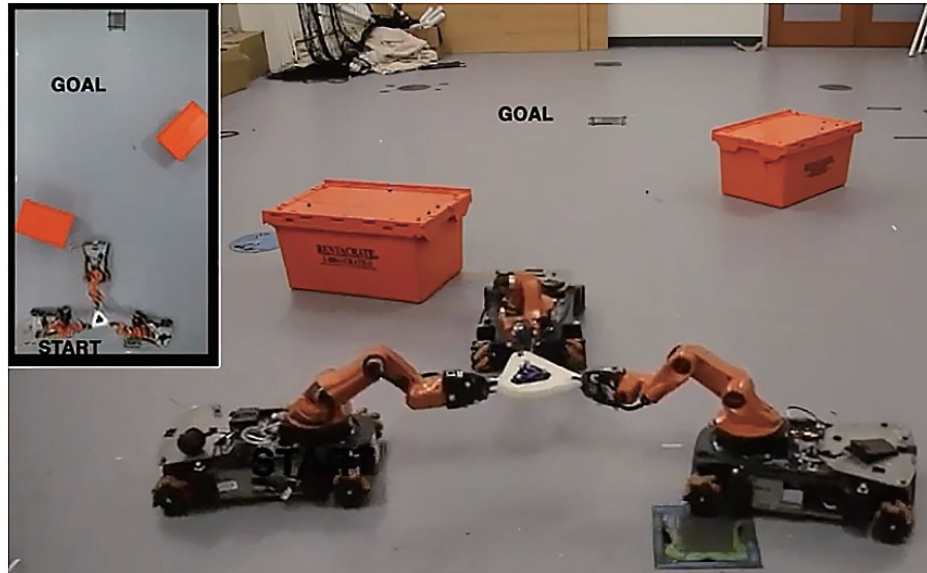


圖 1 多機器人協同搬運 [2]

障礙。而分佈應用恰與編隊相反，團隊中的機器人必須將自己最佳分佈在未知環境中以探索該區域。

- 多機協同操控

如圖 1，多機器人協同移動物品或共同運載大型物件的應用幾乎是多機器人系統同義詞。這一類任務需要在機器人團隊間進行非常高速穩定的通訊行為以取得大量感測器資訊回饋以確保物體姿態與移動軌跡符合路徑規劃。

- 異構團隊合作

一個具有許多不同機型與功能的多機器人系統可稱之為異構團隊。系統有效利用不同機器人隊員的各種功能執行複雜任務。例如雙足、四足或輪型地面移動機器人可以搭載無人機進行合作任務，便可有效擴大搜尋視野與加速搜尋速度甚至，擴大無線通訊網域捕捉微弱求救訊號，而地面機器人可以擔任運送更高荷重物資的角色並成為無人機的充電基地。

- 對抗式環境

RoboCup 於 1997 年成立，主旨是促進機器人和人工智慧的研究。該聯盟運用機器人團隊進行足球競賽已有效發展成許多對抗環境的研究主題。在對抗其它團隊任務中，每個機器人會被分配不

同任務與技能，並依據戰略與環境變化協調團隊成員間的活動。

自 2013 年以來工業 4.0 描繪的未來工廠情境及 2014 年由全球大型電商亞馬遜所引發的智慧倉儲機器人風潮，未來的世界將會仰賴數量更龐大的多機器人系統，而集群機器人 (swarm robot) 在未知的環境下依然能夠協力組成給定的形狀，啟發了本研究 [3]。試想工廠的自動導引載具 (Automated Guided Vehicle, AGV) 能夠像工人一樣，成為工廠中的最小元件。當今天生產線中的貨物，無法由單一車 (工人) 搬運時，另外一台車 (工人) 會一起過來幫忙。如此一來，工廠的自動化將變得更有彈性、效率。然而，要能夠讓多台機器人能夠協同工作，其所面臨到的工程問題有幾項：定位問題、控制問題等。

在組織形狀時，機器人必須要知道自身的位置是很重要的。然而，AGV 通常是在室內作業，無法擁有全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 來輔助定位，故如何利用周遭的標的 (anchor)、附近機器人的資訊來得知機器人自身的位置為許多學者專注的研究 [4][5]。

差速型的載具由於其運動模型簡單、控制簡單、成本低廉等優點，在工業、研究上受到廣

更完整的內容

詳見 | 機械工業雜誌 | · 436 期 · 108 年 7 月號

機械工業雜誌·每期 **220** 元·一年 12 期 **2200** 元

線上訂購網址：<https://www.automan.tw/magazine/orderMag.aspx>

付款方式

1. 郵局劃撥—戶名：財團法人工業技術研究院機械所 帳號：07188562
請於劃撥單的通訊欄寫明：購買期數、金額等
2. 匯款資料—兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)
帳號：203-07-02288-0 戶名：財團法人工業技術研究院
3. 信用卡—請填寫信用卡 [訂購單](#)

麻煩您將 [繳款收執](#) 或 [信用卡刷卡單](#) 傳真至 (03)582-2011，我們會盡快處理您的訂單並開通權限，再次感謝您的支持與愛護。

訂書專線：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌·官方網站：www.automan.tw 機械工業雜誌·信箱：jmi@itri.org.tw

機械工業雜誌 優惠訂購單

訂閱一年 **12** 期

\$ 2200 / 續訂戶 \$ 2000

好禮二選一

A 史欽泰墨寶帆布袋

B 工研院機械所無人車USB (8G)

訂閱紙本+電子雜誌

\$ 3000 原價 \$ 4400

一年12期

贈送

A 史欽泰墨寶帆布袋

訂閱二年 **24** 期

\$ 4000 / 續訂戶 \$ 3600

好禮四選二

A 史欽泰墨寶帆布袋

B 工研院機械所無人車USB (8G)

C 工具機叢書任一本

D 智慧機械人叢書任一本

限量專屬精品送給您



A



B



C



D