

集群機器人技術簡介

An Introduction of Swarm Robotics

葉佳榮

工研院機械所智慧機器人技術組 物流機器人系統部

摘要：集群機器人技術屬於多機器人的新興領域，大量的自主機器人由低成本結構組成並運用局部資訊進行分散式協調。靈感來自觀察自然界蟲群的複雜行為，當群體密集互動時會展現出優異的集群智慧成果。集群機器人可以比單一高功能機器人更強健、快速靈活的執行複雜任務。在本文中，提供了集體機器人與集群智慧技術簡介，並列出該技術發展現況與應用。

Abstract : Swarm robotics is a special field of multi-robotics, in which large number of autonomous robots with low-cost structure use local information for decentralized coordination. Inspired by the complex behaviors observed in natural swarm systems, swarms will show excellent swarm intelligence results when they are intensively interacting. Swarm robots can perform complex tasks more robustly, flexibly and fast than a high-function robot. In this article, we introduced the development of swarm robotics and swarm intelligence, and described the latest status and applications.

關鍵詞：集群智慧、集群機器人、蟻群演算法

Keywords : Swarm intelligence, Swarm robotics, Ant colony optimization

前言

自然界中的蟲群、鳥群、魚群及獸群等群聚生物常見自發性完成許多集體行為，外觀上看起來是烏合之眾，卻能群龍無首的整體快速反應或極有默契的共同協作達成有目的性的群集行為 (Swarm Behaviour) 或群行 (Swarming) 如圖 1。

蜂群是由蜂王、雄蜂和工蜂組成。通常每群只有一隻蜂王，大部份是數千至數萬隻不等的工蜂，而雄蜂只在特定的時節出現。工蜂會以舞蹈報告花源的位置。發現花源的工蜂回到蜂巢上會開始表演舞蹈，其他工蜂會觀察並模仿她的舞步，並留意她身上採集花蜜時遺留的花香。接着便出發採蜜，若順利找到花源便會回到蜂巢上重複相同舞蹈。越多工蜂跳相同舞蹈會導引更多工蜂前往該花源採蜜，可有效降低搜尋花蜜時間。蟻群

也有類似蜂群的社會結構，只是螞蟻使用費洛蒙氣味進行溝通。工蟻如果發現食物，就會在回家的路上留下特定氣味，其他的工蟻會沿著這條路線去找食物，並不斷地加強該特定氣味。如果某處的食物被採集完了，沒有工蟻往返，氣味就會逐漸消散。

隨著很多學者的不斷研究，發現蜂王和蟻后只是享有特權的繁衍者而非統治者，無法發出命令掌控整個群體。蜂群或蟻群是由許多具有自由意志個體所組成的社會。這個由成千上萬自主控制個體所組成的群體卻是分工明確，互相協作，完全不需要監督，能根據環境變動，迅速調整，共同找到解決辦法的強健團隊。

英國鳥類學家 Edmund Selous 在 1931 年使用了「心電感應」(Thought-transference) 的術語來解釋鳥群令人驚異的協調能力。這種猶如幽靈控

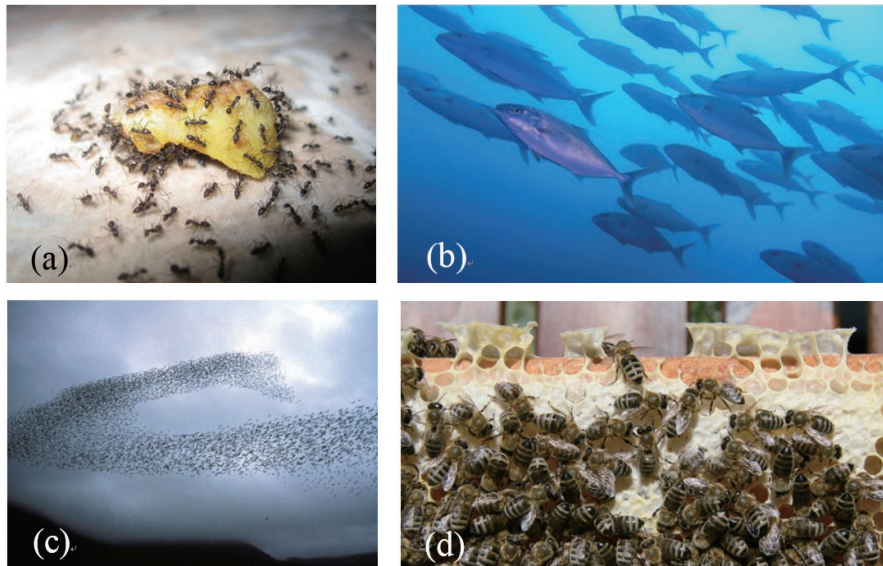


圖 1 (a) 蟻群 (b) 魚群 (c) 鳥群 (d) 蜂群。圖片來源：維基百科。

制般的群集行為直到 1987 年 Reynolds 發表的一篇論文 [1] 中已經可以透過類鳥群 (Boids) 模型結合一些行為規則來描述。而近年來許多電影動畫需要大量描繪逼真自然的鳥群飛翔及龐大壯觀的獸群遷徙等特效幾乎都是源自這篇文章的啟發。

類鳥群模型是基於粒子系統 (Particle System) 的集群模擬，每個粒子可以代表一隻鳥。每隻鳥各自遵循基本物理定律及行為規則，最基本的三條行為規則如下：

- (1) 避免碰撞：避免與附近的隊友碰撞。
- (2) 速度匹配：嘗試與附近的隊友匹配速度。
- (3) 鳥群居中：試圖靠近附近的隊友。

鳥群中的每隻鳥只需獲取周邊隊友及局部環境資訊，並根據這些資訊決定自己下一步的運動路徑及狀態。這個方法的最大特點是整個運動群體沒有中心指揮者，每隻鳥會依據自身周遭的動態環境自行決定運動路徑，進而影響整個群體的運動狀態。當這些模擬鳥類的粒子密集互相作用時便會出現類似鳥群的群集運動。

這種方法同樣可以套用在牧群及魚群上。例如，沙丁魚群距離獵物較近的小魚因為發現危險而突然改變游向，其它小魚透過側線的感應及反射動作，也會集體瞬間改變游動方向。這種群集

行為具有整體覓食、整體洄游和整體防禦作用，能增加物種生存機率。

集群機器人 (Swarm Robotics, SR)

1989 年，著名機器人研究學者 Rodney Brooks 在他的論文 [2] 中，提及具備快速、低成本與分散式控制的集群機器人概念，並開發出一系列雛形機器人展示其可行性。在此之前，他受邀參觀噴射推進實驗室 (Jet Propulsion Laboratory, JPL)，當時 JPL 正對一台笨重的漫遊機器人 Robby 進行測試，並計畫將它發射到火星上執行任務。這個至少 1 噸重的六輪漫遊機器人每分鐘大約只能移動不到一米的距離。而 Rodney Brooks 對此計畫有不同的看法，他覺得這樣做不僅成本高昂而且風險高，因為這台漫遊機器人一旦在火星上發生任何小異常，都可能中斷整個計畫。基於這種考量，他向 JPL 建議發送大批微型漫遊機器人來代替這個龐然大物，如此一來不僅降低了製造成本、分散了風險、提高了容錯率，而且探測的範圍和速度也較大且快得多。但隨之而來的問題就是，捨棄功能齊全但體積龐大的通信設施和數據處理裝置，該如何控制這群微型漫遊機器人呢？Rodney Brooks 的想法也讓人意外——既然控制不過來，那

更完整的內容

詳見【機械工業雜誌】424 期・107 年 7 月號

機械工業雜誌・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：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌・官方網站：www.automat.tw

機械工業雜誌・信箱：jmi@itri.org.tw