



科技武器

WEAPON

● 作者/Steven Park ● 譯者/趙炳強 ● 審者/洪琬婷

美陸軍群集 無人機之發展

Smarter Robot Swarms Could Change Warfare

取材/2021年9月美國陸軍月刊(*Army*, September/2021)

在人工智慧、機器學習與自主技術蓬勃發展之時代，無人系統逐漸肩負彼此相互學習、溝通，甚至規劃機動路徑的協同能力，進一步達成擷節資源並兼顧作戰效能之目標。



40架無人機在加州厄溫堡(Fort Irwin)
國家訓練中心的演習中進行測試。

(Source: US Army/ James Newsome)





美陸軍無人機。(Source: US Army/ James Newsome)

不同類型機器人適合的任務殊異。例如飛行機器人可能比地面機器人更能技巧性地繞過障礙物，但地面機器人勢必擁有更多能源以移動更遠之。

美陸軍領導幹部認為，戰爭下一階段，將需要能夠適應環境動態挑戰的混合型機器人團隊支援。

如果想讓不同類型的自主型機器人協同工作，將需要一個核心戰略，來告訴團隊中每一臺(架)機器如何移動、規劃和彼此溝通。

「分散式協同情資系統與技

術」協作研究聯盟(Distributed and Collaborative Intelligent Systems and Technology Collaborative Research Alliance, DCIST CRA, 以下簡稱DCIST協作聯盟)是由美陸軍戰鬥能力發展指揮部(Army Combat Capabilities Development Command)下轄陸軍研究實驗室所管理的計畫，此計畫旨在填補該技術缺口。

DCIST協作聯盟經理畢卡斯基(Brett Piekarski)說：「有許多美陸軍規劃和自主系統相關文件敘及多領域作戰，這都仰賴空中和地面自主系統相互間的

異質系統整合，我們在「機器人協作技術聯盟」(Robotics Collaborative Technology Alliance)和「微型自主系統協同技術聯盟」(Micro Autonomous Systems and Technology Collaborative Technology Alliance)獲得許多不錯的工作成果，但目前尚未投入協同系統的開發領域。我們認為該系統是實現陸軍未來構想最重要的一環。」協作技術聯盟是陸軍、私營企業和學術界間存在的夥伴關係，致力於創新科學和技術的快速轉型，善予應用以肆應陸軍需求。

DCIST協作聯盟與美國學術界領導者合作，致力引領科學研究，擴大人機團隊的範圍、戰場覺知和作戰效能，俾利於複雜與競爭環境中應對多領域威脅。

DCIST協作聯盟之計畫專門研究分散式智慧、異質系統指揮管制、適應性和彈性行為，並且結合這三個領域的跨學門實驗。有鑑於該計畫的規模和範圍，此聯盟取得的綜合成果，可以讓美陸軍在未來戰場上迅速取得技術優勢。

為了證明這種潛力，該計畫的「適應性與彈性行為部門」內的DCIST協作聯盟團隊在2021年的「電機電子工程師學會國際機器人與自動化會議」(IEEE International Conference on Robotics and Automation)上展示了分散式智慧的新架構。在波音公司的部分支援下，DCIST協作聯盟計畫中的最新里程碑導入了全新的分散式資訊收集方法，稱為「分散式局部搜索」(Distributed Local Search)，優化異質系統機器人團隊資訊獲取和能源成本間的權重。

賓州大學電機與系統工程教授、同時也是DCIST協作聯盟團隊負責人的卜帕斯(George Pappas)表示，「目前大多數方法基本上都是派出一個團隊，讓機器人像螞蟻一樣以最小視距方式近距離搜索，試圖找到距離最近的食物；我們面臨的挑戰之一，是要讓群集機器人團隊更具戰略性，進行更長遠的思考，並尋找更遙遠的目標。這樣的需求使我們第一次真正朝向如能源成本等考量因素前進，而這也衍生出了如何將其最佳化的新問題，等著我們去解

決。」

平衡能源與效能

為完成美陸軍的重要任務，自主機器人團隊需要一套戰略，讓群集中的每個成員能力最大化，而不用將能源或時間浪費在不必要的行動上。

集中式管理方法可對群集機器人施以極高程度的控制能力，但若僅讓一個指揮站臺去管制所有機器人的行動，也會使操作容易出現單點故障。

讓每個機器人規劃行動的分散式管理方法，顯示其擁有更大彈性來面對故障風險，但如果缺乏協調，則將導致多餘的行動，進而耗盡團隊資源。

2014年，美國國防部資助頂尖大學研究人員，建立一套新的資訊蒐集戰略，讓自主機器人能夠從長期角度做出明智決策，而不會競逐短期成效。為了因應此一挑戰，帕氏和團隊初期以座標下行法(Coordinate Descent)作為新方法，讓機器人逐次逐步規劃其行動。

在此方法中，第一個機器人規劃自己的行動，從自發觀點儘可能地減少不確定性，然後與團隊中的第二個機器人分享此資訊。第二個機器人在制定自發計畫時會考量前個機器人的計畫，確保其方向不會與其重疊。然後再將資訊傳遞給第三個機器人做參考，依此類推。



美陸軍士兵在複雜與自主裝置環境中實施構聯。(Source: US Army)



加州大學聖地牙哥分校電機工程學系助理教授，同時也是DCIST協作聯盟計畫的首席研究員安塔納索夫(Nikolay Atanasov)說：「『座標』之所以稱作『座標』，是因為每個機器人就像一個不同座標；而所謂『下行』，是因為我們透過一次處理一個機器人的方式，盡可能地將不確定性減到最小……這種演算法之所以有趣是因為我們可以證明，即使在最糟情

況下，這種分散式規劃至少也能達到最佳集中式效能的五成。」

探索能力與擷節資源

分散式局部搜索建立在座標下行法之基礎上，將能量和降低不確定性之間的權重考量在內，這種現實任務中的關鍵要素，是多數資訊收集演算法所常常忽略的部分。

卜帕斯表示：「我們希望這些

機器人更具探索能力，以便在獲取資訊的同時降低人機團隊的不確定性，但我們也希望無論是在電池電量還是執行任務時間上，機器人都能節約資源……在群集機器人身上，透過可擴充的方式來平衡探索能力與資源節約的演算法新挑戰，是我們DCIST協作聯盟計畫同仁所追求的關鍵創新之一。」

透過分散式局部搜索，每個機器人會定期與團隊成員交



美陸軍第1騎兵師第1裝甲旅級戰鬥部隊布莱利(Zachary Briley)中士在立陶宛接受訓練，他正準備發射一架「渡鴉」(Raven)小型無人機系統。(Source: US Army/ Alexandra Shea)

流，並在成員從周遭環境取得更多資訊時，為團隊建議更「聰明」的移動軌跡。在每次集思廣益的交流過程中，機器人會根據對環境之瞭解來評估建議行動軌跡，並確保後續行動所耗費的成本不致超過潛在資訊獲益。一旦所有機器人達成協議，便會迅速採用最新的團隊計畫。

卜帕斯表示：「群集機器人產生的解決方案更容易在實體上實現，也更具意義……這項研究，不僅是關於如何讓機器人團隊從一處移動到另一處，也包括讓他們學習瞭解環境、瞭解敵人和分享彼此知識等全新領域。」

因勢制宜、發揮優勢

為探究分散式局部搜索之強大能力，DCIST協作聯盟研究人員進行了電腦模擬，將地面和空中

機器人置於一處一分为二的環境中，一邊是遍地泥濘，另一邊則有強風吹襲。地面機器人在泥濘的一側，而空中機器人則須在有風的一側消耗更多能量。一旦實施了分散式局部搜索演算法後，地面機器人就學會了在有風側搜索目標，而空中機器人則學會了留在泥濘的那一側。

安塔納索夫說：「我們可以看到，隨著時間推移，分散式局部搜索演算法可獲得解決方案，將空中機器人和地面機器人分別指派到對其最有利的機動環境……相較之下，最小視距演算法只會讓機器人嘗試優化資訊獲益，而未考慮在泥濘和風向、風速等環境下行動所耗費資源成本。」

團隊合作對於戰場上官兵能否達成任務至關重要，機器人也是一樣，群集機器人在任務期間共同制定和修改計畫的能力，是美陸軍的一項主要技術優勢。這種革命性的人工智慧行為架構，可望促成大規模機器人團隊的發展，而這些團隊可以快速適應非預期的任務威脅，並睿智制定合宜的應處措施。

畢卡斯基表示：「智慧型自主系統在高度動態情況下協同規劃的能力，將在日益複雜的任務和作戰環境中，為陸軍考量並運用機器人團隊之作為創造契機。」

對陸軍而言，在DCIST協作聯盟計畫的技術推動力中，類似分散式局部搜索這種解決方案，不過是該計畫中無數技術突破的其中一項而已。

致力研究自主性

美陸軍適應性與彈性行為部門主管芬克(Jonathan Fink)說，學術界一些頂尖人士正在與軍方



一架小型無人機飛越猶他州杜格威試驗場(Dugway Proving Ground)。(Source: US Army/ Becki Bryant)



研究人員致力合作，以解決陸軍在強力的多智慧體系統自主行為中，所面臨最具挑戰之問題。

芬克說：「賓州大學的研究人員正在研究如何使用機器學習，加速跨網路自主機器人間的無線通信背景運算。」

他補充道：「我們也正在投資新技術，俾利在未來干擾技術出現的情況下也能實施通聯。我們擁有的演算法工具，能讓這些機器人執行自主規劃，但在這項工作中大多最終努力目標，是要找出新方法來加速或改善這些演算法擴充能力，即便面對大量機器人，也能有良好表現。」

DCIST協作聯盟已展現出一系列的技術里程碑，但對於畢卡斯基而言，該計畫的真正價值，在於其研究如何滿足美軍特定需求，以實現對敵方優勢地位。

獨特的環境

雖然商用機器人和人工智慧技術已能滿足普通消費者需求，但戰場上官兵面臨獨特的艱困環境，使用全球通信基礎設施或其他資源時，不見得能



在夏威夷沙夫特堡(Fort Shafter)的地下作戰訓練中心中，第25步兵師官兵控制著機器人。(Source: US Army/ Richard Mohr)

維持全程通聯。

畢卡斯基說：「因為對陸軍任務的複雜程度、獨特作戰環境和對抗環境的關注，促成了開發資料集和基本方法等相關研究，並將這些商用方法擴展到對陸軍充斥限制和條件等可能失敗的因素……這有助於找出商用市場驅動因素和實用案例通常無法解決的技術差距。」

對於貢獻良多的非軍方研究人員來說，DCIST協作聯盟計畫為其提供了機會，以深富意義的方式來協助官兵。

卜帕斯說：「有許多研究人員投入非常多共同努力，但DCIST

協作聯盟計畫獨特之處，是在國內、外在安全領域當中，極少數能夠引導研究界解決具全國性影響問題的計畫之一……我有信心，我們將能在五年內看到大型的地面和空中載具團隊，在廣大區域中執行長期任務。」

作者簡介

Steven Park是美陸軍戰鬥能力發展指揮部下轄之馬里蘭州研究實驗室科技顧問。

Copyright by the Association of the U.S. Army, all rights reserved. Not to be reproduced without permission of AUSA.