



● 作者/Mark D. Newell ● 譯者/周敦彥 ● 審者/劉宗翰

摩爾定律與反制小型無人飛機系統準則

Moore's Law and the Challenge of Counter-sUAS Doctrine

取材/2018年第二季美國聯合部隊季刊(*Joint Force Quarterly*, 2nd Quarter/2018)

無人機發展與摩爾定律的意涵有相似之處，看來未來仍會照著這個定律一直發展下去。小型無人機構成了新的獨特威脅，除了容易從民間市場獲得外，其體積又小機動性又高，令人難以防範，因此發展有用的反制小型無人機準則是一項解決之道。

當我回顧四十年來的軍旅生涯，明顯感受到變化的步調非常快。

——鄧福德(Joseph F. Dunford, Jr.)上將

英特爾公司的創始人之一摩爾(Gordon Moore)在1965年提出了現在眾所周知的著名預言，「晶片上可容納的電晶體數目大約每24個月就會增加一倍。」¹在過了五十年之後，他的預測不僅依然正確，而且目前所謂摩爾定律的涵義也界定了聯合部隊的作戰環境。積體電路和微處理器持續不斷的微型化、大量生產、擴散及進步，已經使強大的電腦運算技術運用在現代生活的各個方面。

積體電路的許多現代應用之一是控制「小型無人飛機系統」(Small Unmanned Aircraft System, sUAS)。商用小型無人飛機系統通常被稱為無人機(drone)，並逐漸成為資源有限的非國家行為者可採用的武器選項。其快速發展和創新應用也為聯合部隊在執行



反制小型無人飛機系統是一項新興趨勢，美軍當務之急是發展相關準則。

(Source: USMC/Jack C. Howell)





防禦任務時帶來一些挑戰。然當前最重要的是發展和頒布實用的反制小型無人飛機系統相關準則。

歷史與背景

乍看之下，摩爾定律似乎是藉由微型化來描述單一技術的潛在增長。然而，電晶體呈指數性微型化的獨特之處，就是其發展的基礎。電晶體構成積體電路和微處理器的基礎建構區塊，而這些區塊又成為幾乎所有電子技術的運算核心。過去五十年來電晶體尺寸每次縮小，都使得運算能力提高，同時使生產成本下降。消費者負擔能力的提升也產生了廣泛的市場滲透率。如今，電晶體和微處理器技術無處不在，涉及現代生活的各種層面，包括聯合部隊及其對手所使用的武器系統。雖然無法確定摩爾本人在當時對此事的理解，但是他預測了一個技術時代的來臨，而這個時代的意義不亞於十八世紀的工業革命。

儘管實際上各個領域的武器技術在過去五十年間都有長足的進步，但是小型無人飛機系統的發展速度尤其令人吃驚。這些系統似乎已經在戰場上嶄露頭角，並具有優異與完全成熟的能力。事實上，這種看法並不全然準確，因為今日小型無人飛機系統的能力，是植基於全球範圍的研究發展計畫。而軍事用途的重點集中在於能否以大型無人飛機系統來複製載人飛機的相關能力，另業餘者所鍾愛的無人機系統重量全都在50磅以下。

遙控飛機的愛好者默默地在世界各地的車庫和地下室中，將微型化與電腦處理能力的每一項

進步融入其愛好之中。較小的無線電因為重量較輕而可以飛得更遠。配備微型攝影機可以將即時數據傳送給穿戴虛擬實境裝置的操作者。功能強大的微處理器和全球定位系統接收器創造了航空動力的穩定性，容許採用複雜的推進系統配置，並具備預設超出無線電範圍航行路徑的能力。這些進步與不斷降低的入門成本，大幅擴張了全球遙控飛機市場。

美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)在2015年12月將0.55至55磅的遙控飛機歸類為小型無人飛機系統，並開始規範其活動，以管理在美國境內愈來愈多的無人機。無人飛機系統增長規模與速度的一個指標，可參照2018年聯邦航空總署的「航太預測」報告，其估計美國到2021年時將有多達440萬架小型無人飛機系統登記註冊。² 如果預估準確，這相當於在未來五年增加400%。³

恐怖主義和預算

隨著過去二十年國際恐怖主義的持續崛起，全球各地的恐怖分子積極尋求低成本、隨時可用的技術，並將之運用於武器製作上以達到其目的。然不出所料，他們已經發現並採用小型無人飛機系統作為其軍火庫中的廉價工具。中東媒體研究所(Middle East Media Research Institute)在2017年的一份報告中，詳細介紹了恐怖組織使用小型無人飛機系統長達十年的追求和演變。⁴ 從2004年開始，真主黨運用小型無人飛機系統對以色列進行了20分鐘的偵察，⁵ 如今小型無人飛機系統竟然已成為伊斯蘭國戰鬥人員的最愛，並經常用



2016年7月11日，新澤西州陸軍國民兵第254團(戰鬥兵種)士兵在新澤西州麥格外爾—迪克斯—雷克赫斯特(McGuire-Dix-Lakehurst)聯合基地操控RQ-11B渡鴉(Raven)小型無人飛機系統。(Source: US Air National Guard/Mark C. Olsen)

來向在伊拉克和敘利亞的美國特戰部隊投擲手榴彈。⁶

然而，對未來的擔憂不外乎在美國本土，因為美國國土安全部已經告訴民眾，恐怖團體正在積極尋求「可以在衝突地區以外使用的新技术與戰術，諸如無人飛機系統和化學戰劑。」⁷ 雖然防禦大型無人飛機系統的技術和戰術，自飛機問世以來就一直以防空能力的形式存在，但是小型無人飛機系統構成了新的獨特威脅。它們體積又小且機動性又高，足以避開大多數監視和預警雷達系統，而且也很安靜，所以更難以偵測。在美國，購買軍用等級的小型無人飛機系統只要求有聯邦航空總署的註冊，此外並沒有額外的任何限制。有興趣透過網際網路購買這類裝置的人會發現，可以買到擁有配備獨立攝影機的四軸飛行器，續

航力12分鐘，還能以手機進行控制，不到180美元的價格就能送貨到家。⁸ 就高階的無人機產品而言，續航力可達20小時、巡航速度每小時50哩、酬載量22磅，則僅需1萬7,000美元就能買到。⁹ 鑑於這些系統獲得容易與功能強大，聯合部隊和所有美國國防單位已經在國內與海外大幅提升反制的能力。

變革與挑戰

根據摩爾定律，小型無人飛機系統技術的發展不斷加快。吾人若檢視在這個領域中新的、受市場歡迎的想法，就可以發現這種觀點。一份2014年的報告顯示，在2001年總共發布了5項新的無人飛機系統專利。¹⁰ 同一份報告指出，2003年發布了12項新專利，2005年發布了22項專利，截至



該報告所述期間結束時，每24個月幾乎呈現指數增長，而報告中也顯示2014年發布了372項新專利。¹¹ 雖然每一項專利僅代表小幅度的性能提升，但小型無人飛機系統的發展速度仍然令人生畏。

在聯合部隊內建立和部署「反制小型無人飛機系統」(C-sUAS) 的努力非常迅速。即使是隨意上網際網路上搜尋「C-UAS」，也顯示2016年政府對產業的合作顯著增加，像是「聯合緊急作戰需求」(Joint Urgent Operational Need)¹²以及政府贊助、著重於評估「硬殺技術」¹³的反制無人飛機系統競賽等內

容，都大量出現在搜尋結果中。同樣的搜尋也顯示了產業界的回應。數十種新技術和現有技術的改良獲得迅速發展，並且很快在戰場上進行了評估。

在創新的產業合作夥伴支持下，美國中央司令部正在以審慎的行動，因應反制小型無人飛機系統的挑戰。為了應付小型無人飛機系統威脅的急迫性，該司令部已經在整個戰區部署了100多個不同的實驗性反制小型無人飛機系統。¹⁴ 從可攜式到大型固定式系統，都在戰鬥環境中由聯合部隊進行作戰評估。¹⁵ 一旦收集到足夠的數據，就會選擇適用的系統來

大規模量產與部署。若不是因為小型無人飛機系統的進化速度，這個過程則將相對簡單。

不幸的是，當目前的實驗性反制小型無人飛機系統正在現地進行評估之際，無人機設計與工程團隊就馬上在開發下一代的產品。翻閱任何書店的科技期刊，都可以獲得有關人工智慧、自主系統、群集戰術等各方面的文章。考慮到當前進化速度的變化，很有可能在目前反制小型無人飛機系統完成評估之前，下一代小型無人飛機系統的技術就會運用在戰場上。這種愈來愈難以擊中的移動目標，就是摩爾定律所暗示的挑戰。如果在反制小型無人飛機系統開發工作上，有任何比跟上小型無人飛機系統進化速度來得更加困難的話，那可能就是發展有用的反制小型無人飛機系統準則。



小型無人飛機系統技術的發展不斷加速中，這種現象與摩爾定律若合符節。(Source: US Army/Marion Jo Nederhoed)

準則和適應性

軍事準則的構想值得進行簡要討論，因為它對不同的人往往有不同的意義。軍事準則基本上有三個層次：軍種、多軍種、聯合作戰。多軍種準則是針對

二個或更多軍種，聯戰準則是由參謀首長聯席會議主席頒布，供所有軍種使用。一般而言，準則應該兼具啟發性與教育性，應該攫取整個結構中最佳的想法和作法、歸納其本質、清楚闡述，以及將可實現的目標和標準程序在結構中呈現。此一描述符合主席備忘錄第5120.01A號，「聯合準則發展程序」(Joint Doctrine Development Process)，其中要求聯合準則要反映「現行作法」並體現「經驗教訓」。¹⁶ 同時還說明了聯合部隊如何藉由共同的理解與期望達成協同一致。

擷取、記錄與散播現行作法的一個先決條件是建立現行作法。換句話說，當事情沒有以任何特定的方式完成時，很難描述它通常是如何達成的。對於現行作法的耐久性亦是如此。如果事情完成方式所改變的間隔時間比準則發展的時程表更短，則產生的任何準則價值都是有限的。對於聯戰準則而言，這尤其具有挑戰性，因為新提交的意見要經過聯戰準則發展團體的澈底審查，包括來自各作戰司令部、各軍種及其他相



2017年8月15日，第6陸戰團第1營2連陸戰隊員在維吉尼亞州匹克堡(Fort Pickett)實施步兵排戰鬥課程部署訓練期間，準備投放馬克2式即時眼(Mk-2 Instant Eye)小型無人機。(Source: USMC/Michaela R. Gregory)

關單位的264名代表。在過去二十年間，聯戰準則發展的時程表從1996年的21個月縮短至17個月，並在2018年夏天配合「調適性準則倡議」(Adaptive Doctrine Initiative)的實施再次縮短為12個月。¹⁷ 即使有了這些重大改進，要在聯戰準則中及

時修訂反制小型無人飛機系統的作法仍然是一項挑戰。

反制小型無人飛機系統準則發展團體所採取方法是平衡獨特性和準確性，同時也注重時效性。也就是說，他們故意提供了一個知識框架，可以在短期內有效地交流想法，同時避免一



些在準則頒布時可能變得不準確的特殊性。在聯合部隊中，美陸軍在反制小型無人飛機系統準則發展的基礎上備受肯定。在2016年10月，隨著第一個實驗性反制小型無人飛機系統裝置的部署，陸軍頒布了一項非機密性的反制無人飛機系統戰略文件，旨在「整合與協同全軍的反制無人飛機系統工作，並知會聯合部隊、跨組織、跨國的合作夥伴。」¹⁸

美陸軍所頒布的戰略文件。雖然不是首次針對反制小型無人飛機系統的討論，但卻是第一個廣泛傳播的官方文件，更敘明未來發展的方向。其中不僅利用13頁的篇幅建立了基本專用術語，而且還規劃發展反制小型無人飛機系統能力的短期與長期優先事項。標準軍事術語及其定義的價值非常重要，因為這奠定準則發展的基礎，甚至是在第一份聯戰出版品(Joint Publication, JP)頒布之前，美國國防部軍語辭典(JP1-02)就已於1948年發行，目的是使「聯合部隊能夠用一種清晰闡述和普遍理解的共同語言，來組織、規劃、訓練及執行作戰任務。」¹⁹

正因為有了陸軍反制無人飛機系統戰略的基本術語和概念，部署各地的部隊就能依據通用的戰術、技術與程序，來建立適用於當地的程序。這些和其他以戰術為導向的計畫作為考量因素，最初記錄在第3-01.81號陸軍戰術出版品：《反制無人機系統技術》(Counter-Unmanned Aircraft System Techniques)，而且最後還併入《空中與飛彈防禦多軍種戰術、技術與程序手冊》(Multi-Service Tactics, Techniques, and Procedures [MTTP] Manual for Air and Missile Defense)中。

由於聯戰出版品是側重於作戰和戰略層級的準則，因此2017年4月修訂的第3-01號聯戰出版品：《反制空中與飛彈威脅》(Countering Air and Missile Threats)，簡要提及反制小型無人飛機系統，但最終仍建議讀者參閱多軍種戰術、技術與程序手冊，其中涵蓋大部分的反制小型無人飛機系統準則，並等待更高層級作法的進一步發展。

這項工作的最終結果是一個概念、術語、定義、考量因素及通用程序的框架，需要夠具體才能達到實用性，而且也要夠模糊才能在反制小型無人飛機系統技術的發展過程中維持適切性。雖然反制小型無人飛機系統的相關內容出現在聯合、多軍種與軍種層級的準則中，但是很少涉及具體的反制技術。藉由維持一種構想的方式，這個框架的提出伴隨著期望，意即作戰司令部與部署的部隊能夠將其融入不同特殊環境與實驗性系統。

結論

小型無人飛機系統很可能會在戰場上運用相當長的時間，所以在準則發展過程中發生的變化也會持續。如果摩爾定律繼續成立，新技術將會愈來愈頻繁地用來應付新出現的威脅，但是美軍卻僅有最粗略的準則可供參考。因此，儘管持續共同努力以簡化準則發展的程序，然而對於參與戰鬥的男女戰士而言，要使一般性指導適應新戰場局勢的負擔依然沉重。

有用的反制小型無人飛機系統準則現在就掌握在部署於各地的人員手中，因為準則發展人員不會等待環境來符合他們的期望，而是要使期望與準則發展程序去適應新環境。在現代戰場上，

技術的發展速度幾乎超過了可以記錄的速度，要以非技術性程序追上這種速度並不容易。展望未來、靈活性和適應性將是聯合部隊避免被自己或對手技術超越的關鍵。

作者簡介

Mark D. Newell係美空軍中校，現任聯合準則戰略計畫參謀。
Reprint from *Joint Force Quarterly* with permission.

註釋

1. “Moore’s Law and Intel Innovation,” *Intel.com*, available at <www.intel.com/content/www/us/en/history/museum-gordon-moore-law.html>.
2. *FAA Aerospace Forecast: Fiscal Years 2017–2037* (Washington, DC: Federal Aviation Administration, 2017), available at <www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts/media/FY2017-37_FAA_Aerospace_Forecast.pdf>.
3. Ibid.
4. Steven Stalinsky and R. Sosnow, *A Decade of Jihadi Organizations’ Use of Drones—From Early Experiments by Hizbullah, Hamas, and Al-Qaeda to Emerging National Security Crisis for the West as ISIS Launches First Attack Drones* (Washington, DC: Middle East Media Research Institute, February 21, 2017), available at <www.memri.org/reports/decade-jihadi-organizations-use-drones-%E2%80%93-early-experiments-hizbullah-hamas-and-al-qaeda>.
5. Ibid.
6. David Von Drehle, “The Security Threat We’ve Been Ignoring: Terrorist Drones,” *Washington Post*, September 29, 2017, available at <www.washingtonpost.com/opinions/the-security-threat-were-ignoring-terrorist-drones/2017/09/29/3fbd1374-a51f-11e7-b14f-f41773cd5a14_story.html?utm_term=.082cd6cbdd7c>.
7. “Summary of Terrorism Threat to the U.S. Homeland,” bulletin, National Terrorism Advisory System, November 9, 2017, available at <www.dhs.gov/sites/default/files/ntas/alerts/17_1109_NTAS_Bulletin.pdf>.
8. “Parrot AR.Drone 2.0 Elite Edition,” available at <www.parrot.com/us/drones/parrot-ardrone-20-elite-edition>.
9. “Unmanned Platforms and Subsystems,” available at <www.uavfactory.com/product/46>.
10. “Hovering Over the Drone Patent Landscape,” *ifClaims Patent Services*, November 19, 2014, available at <www.ifclaims.com/news/view/blog-posts/hovering-over-the-drone.htm>.
11. Ibid.
12. Jonathan W. Dickens and Terry Carter, “Joint Urgent Operational Need (JUON) Phase 1A,” *GovTribe.com*, available at <www.govtribe.com/project/joint-urgent-operational-need-juon-phase-1a/activity>.
13. “Counter-Unmanned Aerial System (C-UAS) Hard Kill Challenge,” *Challenge.gov*, available at <www.challenge.gov/challenge/counter-unmanned-aerial-system-c-uas-hard-kill-challenge/>.
14. *Combined Joint Task Force—Operation Inherent Resolve Leaders C-UAS Handbook* (MacDill Air Force Base, FL: U.S. Central Command, August 12, 2017), 3.
15. Ibid.
16. Chairman of the Joint Chiefs of Staff Memorandum 5120.01A, *Joint Doctrine Development Process* (Washington, DC: The Joint Staff, 2014), B1.
17. Gregory E. Browder and Marcus J. Lewis, “Adaptive Doctrine: Infusing the Changing Character of Warfare into Doctrine,” *Joint Force Quarterly* 86 (3rd Quarter 2017), 120–121, available at <ndupress.ndu.edu/JFQ/Joint-Force-Quarterly-86/Article/1223847/adaptive-doctrine-infusing-the-changing-character-of-warfare-into-doctrine/>.
18. *Counter-Unmanned Air Craft System (C-UAS) Strategy Extract* (Washington, DC: Headquarters Department of the Army, October 5, 2016), available at <www.arcic.army.mil/App_Documents/Army-CUAS-Strategy.pdf>.
19. Joint Publication 1-02, *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms* (Washington, DC: The Joint Staff, August 2017).