大公報
2025年12月10日 星期三

港大研發Super LiDAR 結合創新AI算法

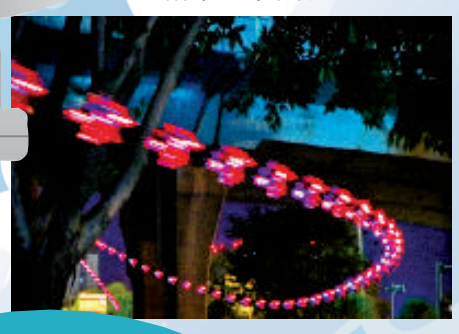
無人機懂避障 仿鳥類高速飛行

編者按

根據投資銀行摩根士丹利的預測，到2050年，低空經濟的全球市場規模將達到九萬億美元（大約相當於70萬億港元）。這一規模龐大的經濟發展動力將改變全球城市景觀、開啟新機遇，並重塑各行各業。作為低空經濟發展的核心要素，無人機扮演着「執行者」和「載體」的角色，透過智慧化、自動化應用，實現包括物流配送、監測巡檢、應急救援和測繪等多種低空活動。無人機的機動靈活性與多樣化功能，使低空空域得以活化為生產要素，並帶動通訊、AI等技術的進步。

《大公報》今日起推出「無人機新突破」系列報道，專訪本港各大院校無人機專家，介紹香港在研發無人機及相關設施的最新情況、以及產品落地的進程，共同探討低空科研造福市民的前景。

掃碼睇片



▼Super LiDAR已在就各項應用進行實地測試，包括漆黑的環境。

◀張富及團隊研發Super LiDAR無人機，其靈活的避障功能，可比擬鳥類的飛行能力。

無人機新突破❶

低空環境下常遇到氣球、高樓、樹木等障礙物，在這高度飛行的無人機，需具備出色的自主避障能力，方能在複雜環境中順利飛行。香港大學機械工程系張富教授及其團隊，成功研發出一款名為Super LiDAR的無人機，其靈敏的避障能力可避開細至2.5毫米的障礙物，如電線或樹枝，並能在夜間的茂密森林中穿梭自如，被認為是「更貼近鳥類的飛行能力」。而這項發明，離不開其創新的AI算法以及作為關鍵部件的3D雷射雷達感測器。

大公報記者 湯嘉平、江凌風

在摩星嶺炮台遺址的測試中，Super LiDAR能夠迅速進入陰暗的營房內部偵察，再飛至戶外；遇到密集植被時，它會懸停「思考」並判斷前進路徑，流暢避開障礙。張富教授向《大公報》表示，與傳統無人機相比，Super LiDAR的最大突破在於實現高速飛行下的自主避障能力。以往無人機在避障時飛行速度多低於20km/h，而團隊在保持避障性能的同時，將速度提升至70km/h。此外，Super LiDAR具備全天候飛行能力，即便在低光或無光環境下，仍能精準感知周圍環境。

3D雷達能探測2毫米障礙物

鳥類能在複雜環境中快速飛行，機器如何複製這種能力？張富指出，Super LiDAR透過激光雷達傳感器結合團隊創新的「規劃和控制算法」，充分發揮激光雷達的潛能。

無人機雷達分為1D、2D及3D三種，Super LiDAR所使用的3D雷射雷達能掃描整個三維空間，甚至探測細至2毫米的障礙物。

飛行過程中，3D激光雷達僅負責測量，而要實現自主避障，還需配合算法在「探索未知」與「保證安全」之間做決策。張富比喻，這類似人在奔跑時隨時準備應對突發情況：Super LiDAR每秒進行10次判斷，在高速飛行時總是規劃一條後備安全軌跡，確保任何情況下都能及時避險。該創新算法可直接在激光雷達的點雲數據上規劃高速與安全軌跡，將規劃時間縮短至十分之一秒，大幅提升反應效率。

張富補充，整個算法屬於AI的一部分，並強調Edge AI（端側AI）部署的重要性。在野外環境中，Super LiDAR毋須連接雲端，即可依靠機載AI即時理解環境；若與雲端連接，則能將即時測量數據回傳，供操作者遠程監控。

九級風下可穩定飛行

Super LiDAR目前已實現於九級風等極端環境下的穩定飛行，憑藉3D激光雷達與多模態感知融合技術，可廣泛應用於快遞配送、電力線檢查、森林監測、自主探索及地圖繪製等領域。張富透露，團隊正在研發下一代無人機系統，以應對更複雜的應用場景。

關於商業化計劃，張富表示目前已進入初期融資階段，預計明年分兩條路線進入市場：一是針對超低空（10米以下）、地下、室內及橋下的巡檢與測量；二是應用於外賣配送、包裹遞送，甚至載人電動垂直起降飛行器（eVTOL）。團隊期望在這些應用中，提供核心航空零部件，以解決無人機的定位、導航與避障問題。

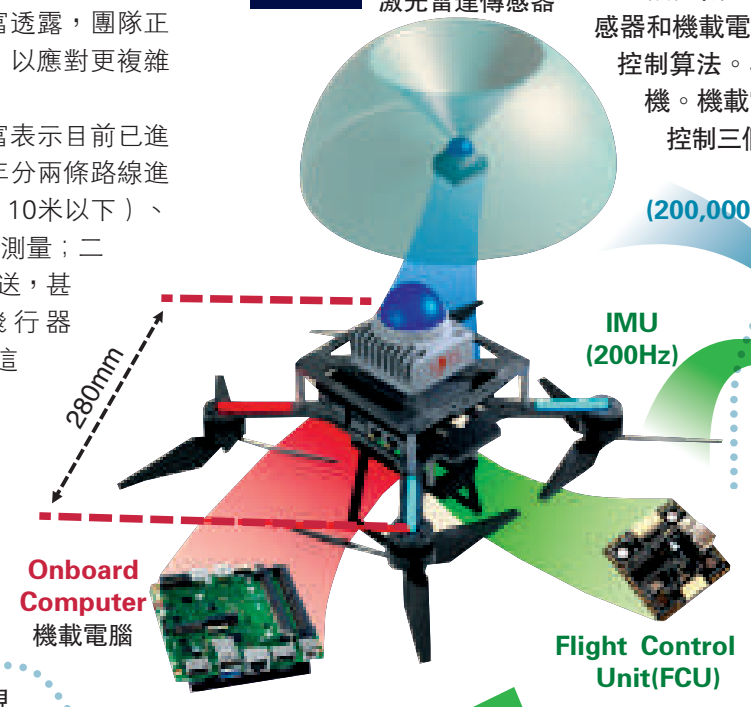
▲Super LiDAR配備旋轉激光雷達，實現全方位掃描，結合AI算法，可以實現低空飛行器在無GNSS情況下定位、在線檢測、規避能力。

▼港大最新研發的彈射無人機系統，該款無人機通過彈射器可以馬上彈射，只需數秒就可以飛到空中快速部署。

Super LiDAR系統概覽

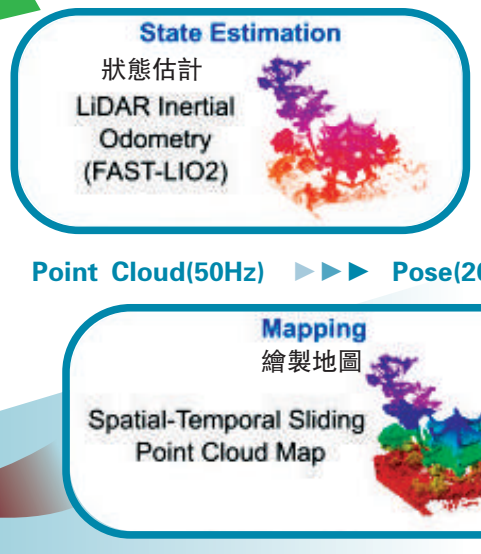
平台 LiDAR FOV 激光雷達傳感器

無人機系統有兩個關鍵硬體：激光雷達傳感器和機載電腦，機載電腦負責導航、規劃、控制算法。其他就是比較常規的四旋翼無人機。機載電腦核心的算法由感知、規劃和控制三個部分組成。



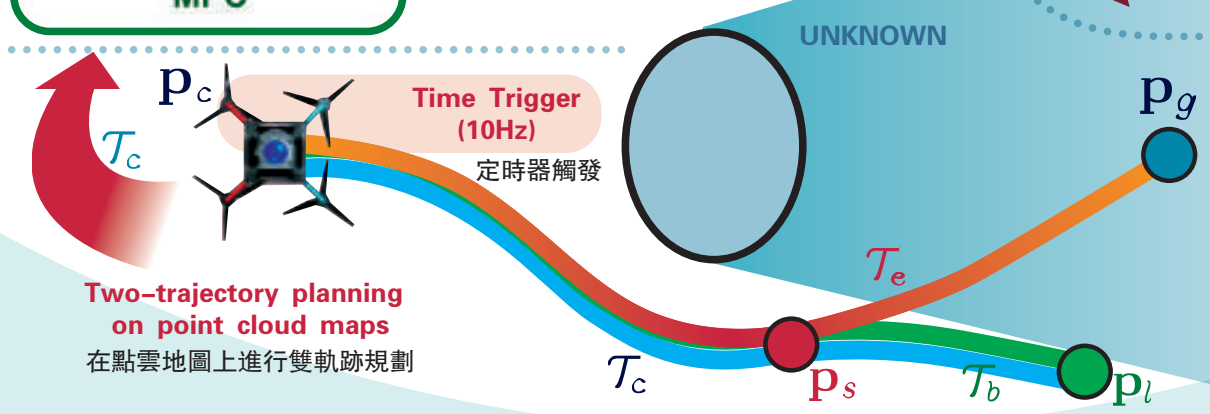
感知 無人機能感知到所處的環境情況，例如哪些地方有障礙物，必須繞道；哪些地方是可以飛的。該步驟稱之為「繪製地圖」（mapping），即對所處環境進行線上的建圖。另外一方面，無人機也需要知道自己在哪裏、自己的飛行速度是什麼，這便是所謂的狀態。

張富教授團隊的實驗室自研一套狀態估計演算法——FAST LIO2，這也是今次SUPER LiDAR中用到的AI演算法的一部分。



控制 控制版塊會根據規劃的路徑，計算出如何讓無人機精確地沿着軌跡飛行。

On-Manifold MPC



規劃 當無人機知道自己身處的位置和環境後，就要規劃路線，從決策點（Ps）分開成兩條曲線，一條是往上的Pg，另外一條是往下的Pl，其中往下的Ps–Pl是後備軌跡，因為避過圖中障礙物及它背後可能存在障礙物的區域，較為安全，但飛行速度會較Ps–Pg路徑慢。

故從決策點分開的兩條路徑，一條是高速路徑，一條是安全路徑，該決策點就相當於在高速和安全之間找到的一個平衡點。

工業→物流→載人 低空經濟發展三步走

未來應用

政府高度重視低空經濟發展，最新公布的施政報告提出「低空經濟規劃行動綱領」，宣示香港正式邁向亞太地區低空創新應用樞紐。香港大學亦積極參與到本港低空經濟發展中，於今年成立「低空經濟研究中心」，並分別與大灣區低空經濟聯盟以及飛行空域管理的公司簽署合作備忘錄。對於香港發展低空經濟，張富教授表示，自己主要負責以無人機為代表的低空經濟科研技術，認為低空經濟可能會實現從「工業無人機，到物流無人機，再到載人無人機」的三步走階段。

張富教授解釋，第一步是工業無人機，尤其是用來做巡檢、測量，這種工業無人機會率先得到應用，因為存在一定的市場需求；第二步是物流無人機，尤其是小件送貨類，例如送外賣、食物、血樣等物品、包裹；第三步是載人無人機，例如載人eVTOL、空中出租車等等類型的城市空中交通。「它的商業化可能更不明朗一些，但它產生的意義會更大，來到的時間點也會更遠。」

不靠衛星導航 杜絕電磁干擾

飛行安全

從險峻山坡到颱風天的空中，從信號遮蔽的密林到城市低空，Super LiDAR正重新定義無人機的應用疆界。張富認為，目前低空經濟面臨的所有問題都是低空飛行安全性的問題。「具體來說，現在所有的低空飛行的無人機其實都會有很大的安全隱患，很容易受到電磁干擾——因為目前所有的無人機主要依靠GNSS系統定位。一旦受到電磁干擾，定位失效，無人機就會亂飛、失控。」

在低空經濟應用領域，Super LiDAR提供革命性解決方案。「我們的系統完全不使用任何衛星信號，也不需要依靠通訊，完全依靠機載感測器實現定位和避障。」有別於傳統無人機依賴衛星定位，Super LiDAR完全從根本上杜絕了電磁干擾導致的失控風險。

穿梭樹林檢查斜坡

張富指出，現行的低空飛行器最大的安全隱患在於缺乏避障能力，只能按照預設航線飛行；而Super LiDAR技術讓無人機在低空空域能夠主動識別航路上的氣球、風箏、塑料袋等安全隱患。而針對10米以下的超低空空間、地下乃至室內等空間的測量和巡檢，目前沒有商用現成的無人機可以在這些複雜的場景裏面安全和可靠地飛行。「所以我們現在其實是希望把這套系統做得更加成熟，能夠來解決低空飛行器的安全飛行問題。」

應對多樣自然環境及不穩定天氣狀況，張富憶述，團隊與香港土木建築工程署合作的斜坡巡檢項目，Super LiDAR穿梭在不同的樹林斜坡間「仔細檢查」為阻擋山體滑坡而設置的鐵絲防護網。「我們需要對不同斜坡上的基礎設施進行安全評估。它們是否固定緊實？暴雨來臨時能有效阻擋滑落的石頭與泥土嗎？」他指出，傳統的人工巡檢需要工程師面對惡劣自然環境和複雜地勢，不僅耗時費力，更存在極大安全風險。「如果能用無人機實現惡劣環境下的自動化作業，其意義非常之大。」

到目前為止，Super LiDAR的多模態感知融合系統讓無人機能在九級風的環境中安全飛行，不僅能懸停，還能執行任務並避開障礙物。

責任編輯：嚴偉豪 美術編輯：巫鍵忠