

理大「最後一厘米」技術 風雨無阻完成派遞

無人機新突破②

「我之前在澳洲的時候，看見無人機可以直接飛進別人的院子裏；後來美團用無人機送外賣，但是人還是要走到快遞櫃去拿。」有見及此，香港理工大學航空及民航工程學系兼低空經濟理學碩士課程主任助理教授黃海龍研發「Last centimeter」（最後一厘米）無人機配送方案，旨在解決物流配送「最後一公里」的瓶頸問題，讓無人機能精準飛至用戶陽台，今年更優化至能準確飛進室內，實現「無人接觸」的配送服務。

大公報記者 江凌風、湯嘉平（文）
何嘉駿（圖）

「Last Centimeter」無人機送貨項目於去年完成所有核心技術的開發，讓無人機不再僅限於飛到類似快遞櫃的指定地點，而是能精準飛入用家所住的陽台。今年黃海龍博士團隊繼續優化方案，從原本的「飛進陽台」方案，轉向更靈活的室內配送。

黃海龍日前接受《大公報》獨家專訪時分享這一最新優化成果，他指出，「Last Centimeter」之所以能夠安全導航複雜環境、準確避開障礙物降落及防止風阻等干擾，在風雨等複雜環境中穩定、安全地完成任務，其技術核心在於「先進自主導航演算法」、光學雷達和多種傳感器組合而成。

計算積分找出身處位置

黃海龍介紹，在陽台或室內等定位信號缺失的環境，團隊研發的LIDAR SLAM技術實現精準定位。「無人機的身上帶着一顆激光雷達，而激光雷達上還帶一個叫IMU的電子設備，即Inertial measurement unit（慣性測量單元）。IMU是通過積分的方式計算我未來去到了哪裏。」

黃海龍解釋，飛機往前直飛會有一個速度，這個速度可以根據之前的位置及飛行時間計算下一步到了哪裏，從而不斷地累積得出飛機目前所處的位置。但若在積分的過程中每一步都出現誤差，實際位置和計算位置就會出現較大的誤差。為解決誤差問題，團隊通過激光雷達測量返回時間，獲取與周圍障礙物的精確距離，通過不斷比對點雲數據，修正IMU的累積誤差，實現精準定位。

加強監察 2019年，歌手林俊傑開演唱會時，現場一架無人機飛到舞台前盜攝，左右搖晃，挑釁台上台下。林俊傑克制情緒對台下歌迷說：「這個就是偷拍我演唱會出盜版DVD的人！我們把它喊下來好不好？」全場幾萬名歌迷齊心吶喊「下來！下來！」驅離無人機。未曾想隨後一連出現三台無人機……

黃海龍教授指出，這些「黑飛」無人機，輕則盜攝侵權，重則威脅國土安全與信息保密，因「黑飛」無人機通常攜帶傳感器，可對重要基礎設施進行非法測繪。

利用通信基站探測空域

為了打擊「黑飛」，黃海龍團隊透露，目前亦在研發相關反「黑飛」系統。該系統承擔「感知」與「預警」角色。其核心在於利用現有通信基站等基礎設施，實現對空域的不間斷監控。

黃海龍解釋，合法無人機通常配備「Remote ID」發射晶片，飛行過程會持續發送其身份信息；地面接收器捕捉到這些信號即可確認其合法身份。然而「黑飛」無人機往往不會主動發送身份信息，難以憑傳統手段發現。為此，團隊通過通信基站的24小時監管，持續探測空域，從而識別潛在的非法目標。

系統感知偵測到「黑飛」存在後，自動生成指令，將「黑飛」無人機的位置及出現時間等數據傳送到執法部門。反制「黑飛」的合法工具一般為警用工具，如透過電磁干擾迫使「黑飛」無人機降落、透過物理捕捉直接攔截「黑飛」。

目前，該反「黑飛」項目仍處於研發階段，預計明年年底完成。團隊正與學校CFSO合作，計劃於校內安裝通信基站。

無人機送貨 入屋 自主導航精準定位

同時，該系統的障礙物檢測算法毋須大量數據預訓練即可適應各種場景。「我們前期僅需要做一件事情——對目標樓層進行掃描，建立精確的點雲地圖。」無人機只需在任務前飛行一次，通過激光雷達獲取的數百個距離數據點，構建建築物外部輪廓模型，從而使無人機快速適應任何新建築及環境。此外，團隊亦為無人機規劃簡潔的飛行路線。「我們將無人機起飛至略高於樓宇的高度，再平飛至目標點下方降落至目標處，投遞物品後原路返回。」

用於樓宇檢查 高效低風險

除了物流配送，黃海龍認為該技術在香港最具潛力的應用領域是Building Doctor（樓宇醫生）。團隊曾做過統計，目前香港有約3000座「三無」大廈及超過一萬棟50年以上的老舊建築。「目前的樓宇醫生檢測主要依靠人工目視，在作業的過程中會用到高空吊籃，高空作業風險高，效率低。」黃海龍笑言，「若未來我們的技術可以被樓宇醫生們用作工具，那他們會不會很開心呢？我認為他們會很開心的啊。」

談及該無人機技術在香港商業化，黃海龍坦言面臨多重挑戰。「香港獨特的高樓城市環境導致風場分布極其複雜，風力因建築反射而難以預測，難以精準建模而導致實驗失敗率較高。」

此外，目前所有飛行活動均需民航處批准，香港空域管制嚴格。「其實大家考慮的點在於安全。」他預計下一步先在內地推展，之後亦會考慮在香港的應用。



掃碼睇片



▲理大研發的無人機配送方案，能精準飛至用戶家中陽台，甚至飛進屋內。

黃海龍教授團隊研發的自主無人機技術

名稱

特點及應用

阳台物流無人機

研發時間：2024.07–2024.12

通過基於雷達的感知技術，實現無人機全自主進入陽台投遞貨物。

空中飛行航母平台

研發時間：2024.09–2025.02

飛行航母平台可以增加其所攜帶小型無人機的續航及工作半徑。待航母平台攜帶小型無人機抵達任務區域後，小型無人機可以發揮其機動性及通過性優勢完成如搜索救援等任務。由於航母平台的支持，小型無人機毋須擔憂續航問題。



全向飛行傾轉無人機

研發時間：2025.05–2025.08

此無人機可以通過伺服電機旋轉電機及槳葉，從而將推力分配至需要的方向。可以實現全向飛行，在空中操作以及巡檢等應用中發揮重要作用。

室內送貨無人機

研發時間：2025.02–2025.05

實現室內及室外自主導航，將物品送入窗戶，「飛入尋常百姓家」。

競速無人機

研發時間：2025.03–2025.05

輕、小，用於實驗室室內驗證規劃控制演算法。現主要用於無人機競速實驗。



▲理大團隊亦有研發競速無人機。



▲研究團隊用於實驗測試的多款樣機。

發展低空經濟

先做好安全保障

築牢基礎 香港理工大學於2024年成立低空經濟研究中心，展開研究低空空中交通管理、利用無人機運輸貨物等項目。理大航空及民航工程學系助理教授黃海龍曾表示，低空經濟研究中心進行兩方面研究：第一是上層規劃方面的研究，包括部署低空經濟的基礎設施等；第二是下層飛行安全方面的研究。「我認為如果讓低空經濟騰飛，變為現實，最主要的還是安全。」黃海龍在近日接受《大公報》專訪時提到，要發展好低空經濟，無人機不能只打價格戰。

最後防線 研應急降落傘

黃海龍表示，目前無人機製造成本雖低，但可靠性不足，導致事故率遠高於傳統民航。他強調，無人機不能僅靠價格競爭，必須從技術層面提升安全性。為此，其團隊從三個層面進行研發布局：

第一層面是增強無人機抗干擾能力。黃海龍提及，之所以在實驗室不斷干擾無人機，就是考察飛機在失穩後如何進行控制以盡量減少其墜地的衝擊力。

第二層面是研發無人機可變結構技術。「所謂變的結構，就是可以調整無人機的躲避的方向。比如突然某個方向吹來一陣強風，無人機感知到這陣風，就可以提前改變飛機結構進行躲避。」

第三是配備應急降落傘系統，也是最後一道防線。黃海龍解釋，當無人機怎麼都抵抗不住干擾、配件故障、被鳥類撞擊，甚至遇到極端天氣而無力抵抗干擾而墜機，應該怎麼辦呢？我們怎麼做呢？

「若用降落傘來將飛機帶到一個相對安全的地方，這樣對地面的傷害就降到最低了。」

黃海龍強調，若無人機的安全等級未能達到公眾可接受的程度，低空經濟將難以真正起飛。「我們不能每天都在擔憂有沒有無人機會掉到自己頭上。」