

機器學習算法 使微納機械人更「聰明」

張立
楊立冬

微納機械人在臨牀應用中有龐大潛力。人類的大腦是承載智慧的器官；同樣地，若能夠賦予微納機械人「智慧」，將能令它在醫療應用上開闢新領域。我們合作開展了探索在微納領域實現「具身智能」(註1)的綜述工作。將微納機械人作為末端的執行器和感知器，結合控制系統中的機器學習算法，向機械人賦予智能，這個革命性的創新科技將徹底改變我們的診斷和治療方式。該工作已發表在期刊*Nature Machine Intelligence*上。

微納機械人經過數十年發展，已展現出其在生物醫療領域的不可替代地位。然而，如何實現兼具自適應能力、智能化和自主化的微納機械人控制，尤其是在實際生理環境中執行醫療任務，依舊是一項嚴峻挑戰。

在微納米尺度環境中，機械人的運動會受到大量擾動和不確定性的影響，包括機械人之間的相互作用、布朗運動(註2)、熱力學擾動，及機械人本身難以建模的動態特性等。這些複雜多變且難以量化的擾動，往往限制了傳統控制方法的效果。

生物體裏精確控制機械人

同時，在動態的生理環境中，存在着成分複雜的生物流體、生物組織的蠕動，以及分佈複雜的腔體血管結構，這些因素都會對微納機械人執行任務帶來困難。針對這些問題，機器學習算法可能是一個可行的解決方案。

我們從驅動、運動控制、規劃、追蹤、導航等角度，歸納了機器學習算法在微納機械人領域的貢獻。與使用大量試錯法和反覆運算的傳統設計方法不同，機器學習可以通過訓練建立機械人參數與功能的對應關係，簡化微納機械人的設計優化流程。

在運動控制方面，微納機械人本身及其控制系統的模式，都存在着較大的不確定性和非線性，意味着通過傳統計算方法難以得到滿意的控制效果。利用神經網絡強大的學習和擬合能力，可以在節省大量計算資源的同時優化控制輸入，實現精確控制。

在生物體內執行醫療任務時，控制者需要實時獲取微納機械人的位置及姿態信息。採用深度學習的圖像處理方法，可以從雜訊多、訊噪比低的醫療圖像中取得所需信息。此外，生物體環境中存在多種動態干擾，如何實現穩定的避障及抗干擾靶向導航，也是關鍵所在。機器學習算法可以直接為機械人在複雜環境中提供控制信號，在不需要依循特定模型的情況下，亦可更穩健地導航。

可提供新微創靶向治療方向

微納機械人相比於傳統機械人系統的最大優勢，在於其微小尺度，使其在狹小複雜環境中有着更強的靈活性。而機器學習等智能算法，可以幫助微納機械人解決諸如控制及定位追蹤等挑戰。

因此，未來對於需要微創及靶向治療，例如靶向藥物遞送、定點溶解血栓或栓塞等的病人，機器學習輔助下的微納機械人，可以向他們提供新的治療方向。筆者此前合作研究的基於深度學習算法的微納集群自動導航的工作，也已發表於*Nature Machine Intelligence* 期刊(註3)。

我們認為，將機器學習算法整合到微納機器人之中，是一個充滿前景的前沿研究領域。智能化微納機械人的發展，可望為人類帶來更健康、更長壽的未來。

註1：「具身智能」是有物理載體的智能體(智能機械人)在一些交互中，通過感知、控制和自主學習來積累知識及技能，形成智能並影響物理世界的能力。

註2：「布朗運動」指懸浮在流體中的微小粒子或顆粒，無休止地做出的無規則運動。

註3：文章網址 www.nature.com/articles/s42256-022-00482-8

(綜述論文全文：www.nature.com/articles/s42256-024-00859-x)

作者張立是香港中文大學機械與自動化工程學系教授，楊立冬是香港理工大學工業及系統工程學系助理教授