

協作式採茶智慧載具

顏炳郎 許修瑜 賴暘倫 陳柏綸 詹翔宇

國立台灣大學 生物機電工程學系

摘 要

採茶缺工問題嚴重，加上採茶季節集中造成需工時間大量重疊，因此缺工、搶工成為茶葉生產的重要課題。本論文開發智慧型協作式載具作為省工農機，搭配現有雙人採茶機具，可順利在茶園中與茶農協作採茶。透過導入感測技術感測周遭環境，進行茶道間自主導航與自主避障；採用人機協同控制介面，降低農人採收負擔，實現高效率茶葉收集與省力省工。

關鍵詞：省工機械、Labor Saving Machinery、智慧農業機械、Intelligent Agricultural Machinery、茶葉採收、Tea Harvesting。

緒 論

茶葉採收在每年十月至隔年五月之間，採茶缺工問題嚴重，一方面因為工人不足，一方面因為採茶工逐漸老化，需工時間重疊，因此缺工、搶工成為茶葉生產的重要課題。延誤了採收茶葉精華期，茶葉因老化，造成品質與價格大幅下跌，影響茶葉經濟產值。機械採茶在高山茶區地勢陡峭使用不易，使用單人機採長時間手持造成手部肌肉疲勞，採收面高低不齊影響茶菁品質^[1]。本計畫以開發茶葉之省工農機即以解決上述問題為核心，通過導入智慧型機械，降低人力需求並降低採收難度，以達到省力省工之效益，並減少老化等社會問題所造成之經濟影響。

在過去二十年間，大量機器人等智慧輔助技術導入農業應用中，如果實採收^[2,3]、授粉^[4,5]等等，藉由機器自動或半自動進行大量重複性工作，以降低農人工作量。然而，對茶園或果園這種開放性空間，其栽培條件非常複雜，空間也很狹窄，自主運作機器人無法很好地運行。加上有文獻載明^[6]，在機械採收過程中，採收位置的微小差異對茶葉的產量和質量會有很大影響。因此，獨自工作的採茶機器人可能不是合適的有效方法，通過農民與智慧機械合作的半自動機器人可能是更好的選擇，因此有提出 side-by-side 的移動載具控制模式^[7]，來適應複雜農業環境的採收作業。

本文提出一種人機協作智慧採茶機械，其上裝載茶葉切割刀具，在茶園中和操作者並排行走，由操作者引導茶葉採收。智慧採收機會偵測自身對共同採收者之相對位置，對行進速度進行調整，而可以確保智慧採收機一直維持在農人身側；同時採收機亦具備自主導航功能，可以偵測所行進之茶道兩端之狀況，避免過度接近左右茶樹，對兩者造成損害。

材料與方法

本論文開發之茶葉採收機械之系統架構圖如圖 1 所示，係一配備光學感測器之輕型履帶載具。履帶車之具備卓越之越野能力，能順利通過茶園地面之突起或坑洞；透過可程控電動馬達驅動，可完成各種移動軌跡。車上裝載刀具固定支架，搭配市面上常用之各種雙人採茶刀具，以方便拆卸以及穩固為特點，並可通過機構調整刀具之升降與方位，以配合茶樹生長狀況進行不同高度之採收。

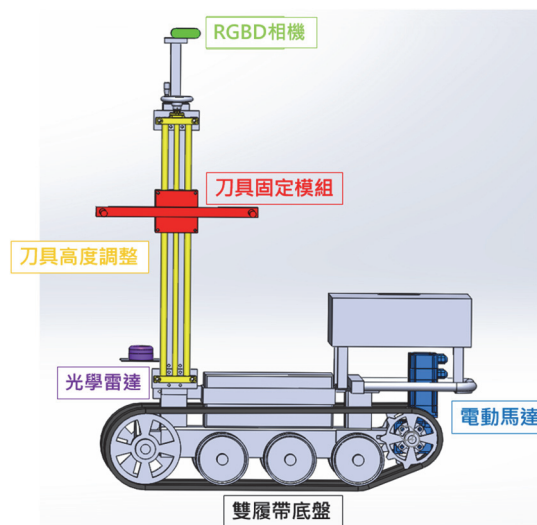


圖 1、智慧茶葉採收機械系統架構圖

智慧茶葉採收機械配備兩種光學感測器：光學雷達(LiDAR) (RPLIDAR A3, Slamtec Co., Ltd., China)及 RGB-D 相機(RealSense D435, Intel Inc., USA)。前者係使用雷射光對周遭掃描，辨識半徑 25 米內之障礙物；當採收車在茶園中行進時，即可通過雷射建置出茶樹的位置，確保載具在茶園的路徑上運行，並可對環境中出現之障礙物進行避障。而 RGB-D 相機則用於追蹤操作者身上的標誌，提供操作者位置及深度資訊。本論文採用之標記辨識使用 ROS 系統的 ar_track_alvar 套件^[8]，包含多個 AR 標籤，並使用 Alvar 標籤識別方法，通過自適應閾值處理不同的光照條件，提供穩定的姿態估計。

智慧茶葉採收系統之最大特色在於採取人機協同之運作方式，由操作者於採收過程作為主導，指揮機器人完成其餘的基礎工作。通過感測器讀取操作者身上之標記，智慧採收系統會評估操作者姿態及兩者間距離，進而採取不同之作動方式，整體人機協同策略如圖 2 所示：

1. 機器加速：當操作者領先機器時，機器會予以加速，以趕上操作者的腳步。
2. 機器與人等速前進：當操作者和機器之兩座標軸保持平行方向，並且兩者間距保持在範圍內，機器保持等速前進。

3. 人落後，機器等待：當操作者落後機器，機器會停下等待，等人繼續移動至平行機器，便繼續移動。

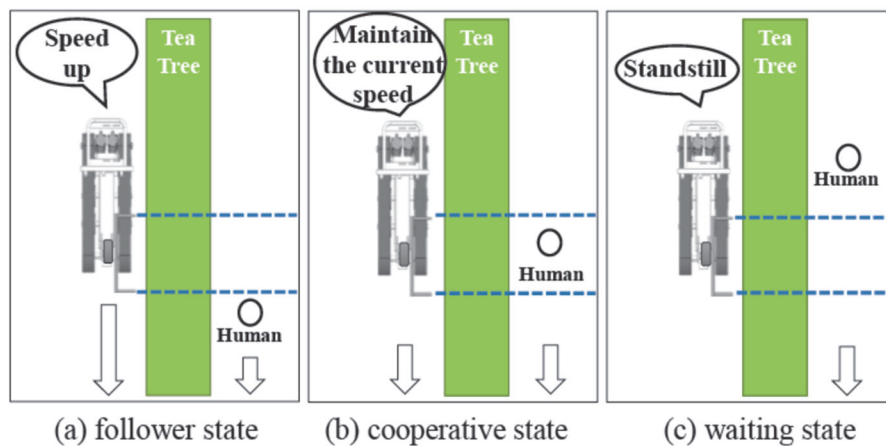


圖 2、智慧茶葉採收系統人機協同運作策略

結果與討論

本論文所開發之協作式採茶智慧載具在茶葉改良場進行田間試驗，由操作員和智慧採收機械分別在相鄰的兩茶道中，對中間的茶樹進行採收。實驗開始時，上述兩者從同一水平線上出發，採收前方 3 米的茶樹。

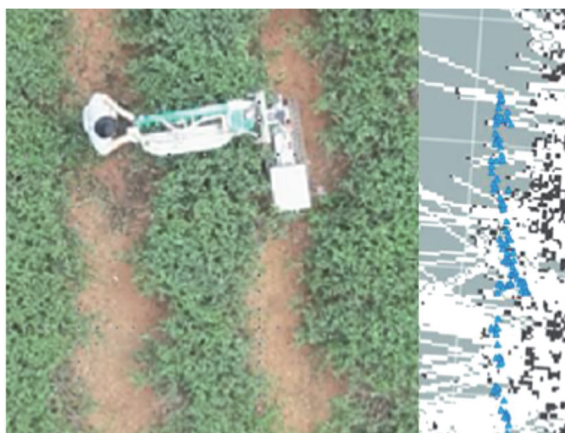


圖 3、智慧茶葉採收系統田野試驗

圖 3 為此實驗進行的環境，根據障礙物分布，智慧採收機械會即時計算出一條分隔茶道和茶樹的邊界，使用佔用網格圖(occupancy-grid map)所建立的界線是一致的，且不受路徑上茶樹枝葉末梢和雜草的影響。採收機械的軌跡比操作員的行走軌跡更為平滑，而這一點同

樣可以透過圖 4 的位置時間分布圖得出。採收機械在整個採收過程中，一直配合著操作者的位置運行；只有當使用者落後時($t=4,7,13-17,23$ 秒)，採收機械會停下等待操作者前進外，整個沒有很明確的卡頓現象(即速度值為 0)，從而減少運作過程中不必要的振動從圖 5 的速度變化圖中，可以看到實驗過程中，採收機械的速度約在 0.3 到 0.6m/s，近乎同步於操作者的實際步行速度，可以提供良好的茶葉採摘效果。

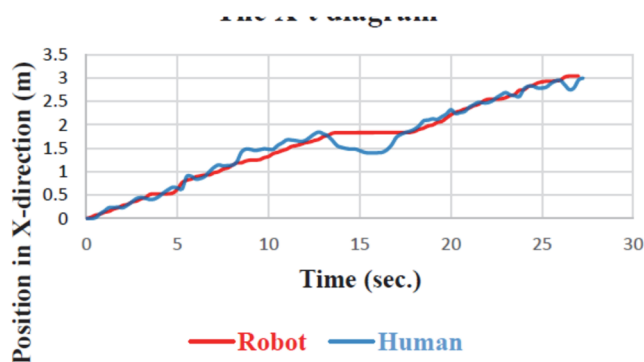


圖 4、操作員和智慧採收機械的位置時間分布圖

圖 5 展示了智慧採收機械自動前進和作動及調整細節。在圖 5 (A)和(B)分別繪製了在採收過程中採收機械的右邊車身到右虛擬邊界間的最短距離 d_R 及左邊車身到左虛擬邊界間的最短距離 d_L 。兩者的允許值(d_{min})為 0.1 米，一旦當 d_L 和 d_R 小於 d_{min} 時，即認定採收機械和虛擬邊界有交疊傾向，系統即需修改路徑以使其返回虛擬邊界之間的區域；也就是說， d_R 和 d_L 的值將立即上升回大於 0.1 米。

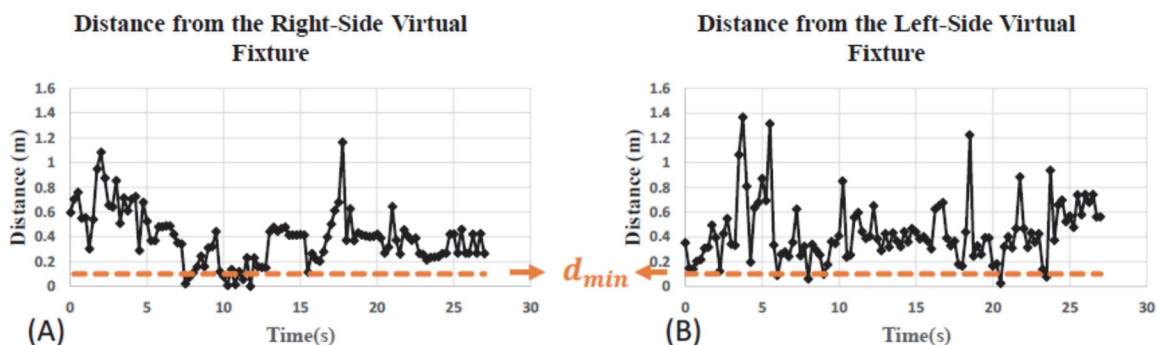


圖 5、智慧採收機械和虛擬邊界的距離

為了評估智慧採收機械減輕負荷的效果，我們首先測量了兩個農民使用一台 15 公斤傳統雙人採茶機進行採收作業時的負載，如表 1 所示：使用智慧採收機械取代輔助操作者後，主要操作者的平均負荷下降了 85%以上。

表 1、雙人採茶機進行採負載比較

	傳統雙人採收(Kgw)	使用智慧載具採收(Kgw)
主要操作者	6 ± 1.8	0.8 ± 0.4
輔助操作者	9 ± 1.8	N/A

結 論

本研究提出之協同式茶葉採收智慧載具，可在茶園開放及多變的環境中，偵測障礙物自主導航；並同時對操作者的行進進行估測，使得智慧載具與操作者維持一致之行進速度，與操作者協同進行茶葉採收作業，整個收穫過程完全掌控於操作者手中。相較於原本二人共同採收模式，協作採收直接降低一半人力；而且實驗顯示，使用智慧機械進行作業時，所花費之負擔更小，有效提高茶葉採收之效率與產能，提供目前缺工問題嚴峻的產業環境下的極佳解決方案。

誌 謝

本研究由農委會計畫編號 109 農科-14.2.1-糧-Z2(3)與科技部計畫編號 MOST 109-2221-E-002 -082 -MY2 經費支持。

參考文獻

1. Y. Han *et al.* "Developing situations of tea plucking machine," *Engineering*, vol. 6, no. 6, pp. 268-273, 2014.
2. H. Yaguchi *et al.* "Development of an autonomous tomato harvesting robot with rotational plucking gripper," in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst., 2016, pp. 652-657.
3. A. Silwal *et al.* "Design, integration, and field evaluation of a robotic apple harvester," *J.Field Robot.*, vol. 34, no. 6, pp. 1140-1159, 2017
4. J. Barnett *et al.* "Robotic Pollination-Targeting kiwifruit flowers for commercial application." *PA17 International Tri-Conference for Precision Agriculture*. 2017.
5. J. Strader *et al.* "Flower Interaction Subsystem for a Precision Pollination Robot." *arXiv preprint arXiv:1906.09294* (2019).

6. T. NAKANO, “Influences of Plucking Position on Yield and Quality of Tea in Mechanically-Plucked Tea Bush,” *Chagyo Kenkyu Hokoku (Tea Research Journal)*, 1998(86), pp.11-17, 1998
7. Yang-Lun Lai, Po-Lun Chen, and Ping-Lang Yen, “A Human-Robot Cooperative Vehicle for Tea Plucking”, 2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT’20), pp. 217-222, 2020.
8. S. Niekum, and I.I. Saito, “Ar track alvar ros package,” URL http://wiki.ros.org/ar_track_alvar 3, no. 4.