

織蔭

數位工藝與智慧營建在樹下的相遇

成大建築系\沈揚庭

一、仿生造林的落成

工藝與營建在一般人的認知上往往象徵著建築光譜的兩個極端，前者是從藝術的層面出發來探討技藝的呈現，後者則更偏重工程導向下的實踐邏輯與方法。成大建築系的師生融合了這兩種思維，在2022年蓋出了一座全尺寸木座涼亭：「織蔭（Interlace Forest）」。該作品從織林成蔭(Embower)的概念出發，透過仿生式演算模仿林木的生成，並結合機械手臂來克服多維度木構卡榫的數位製造，最終在成大榕園的一隅呈現出一座數位工藝與智慧營建交織的仿生構築。

「織蔭（Interlace Forest）」坐落於成大光復校區榕園旁的圓環角落，在2022/09/13正式落成開幕，並出版同名書籍：Interlace Forest。值得一提的是該作品的實踐過程已經與建築系的必修課程做出融合，使教學與實踐能夠形成深度的整合並成為學生學習歷程中的能力輸出。在沈揚庭老師



織蔭（Interlace Forest）。

和顏嘉慶老師的帶領下，修習「建築設計（七）」的六位學生設計師鄭崇明、李弈璇、傅政文、黃柏熹、郭建愷、李芷沅，以及三位技術助教王宥琦、黃廉凱、高有閔等，以四個月的教學研究加上一個月的應用實踐，共同協力完成此一全尺寸的數位構築作品。

二、數位工藝與智慧營建的碰撞

「織蔭（Interlace Forest）」的設計概念是從榕園成群的樹林意象出發，以八棵同質卻形態互異的樹狀結構組成簇群。整體的設計以樹木的構成邏輯分成四個高程，由下而上分別是根部層、主幹層、分支層、樹冠層，以此映射出樹林給人們提供的停留休憩、穿梭動線、框景觀賞、避暑遮蔭功能，形塑出在樹下漫步的自然意象。織蔭在造型上為了能夠模擬原生樹林枝幹交錯的自然美感，在構造設計上使用仿

生的演算法來模仿樹木生長的生成邏輯，從根部層往上逐次衍生出三向度的主幹層，再從每個主幹層衍生出分支層。而分支層的生成原理是根據水平樹冠層的展開範圍及其演算出的內肋結構分布，計算需要力傳遞的節點後自動生成，使分支層起到承接屋頂樹冠結構重量並收束到主幹層的結構傳力轉換作用。在仿生演算的作用下，整體的結構產生複雜卻合理的樹狀系統，但同時也衍生出較具挑戰性的多維度線性結構。為了克服多維度線性結構所衍生出的多向度接頭需求，在製造面向上運用了機械手臂發展出多向度的木樁工法。該工法突破了傳統木樁大多只能在正交系統構成的弱點，以數位雙生模型結合機械手臂加工準確地放樣並製造出可客製化的「多向度木樁接頭」，使每根不同向度的木條都能夠過此種多向度木樁接法準確的嵌合在一起，實現織蔭想表現自然仿生森林交織美感的初衷。



「織蔭（Interlace Forest）」坐落於成大光復校區榕園旁的圓環角落，並在 2022/09/13 正式開幕。

COMPOSITION

Roof
2x4 inch. lumber

3rd Level
2x4 inch. lumber

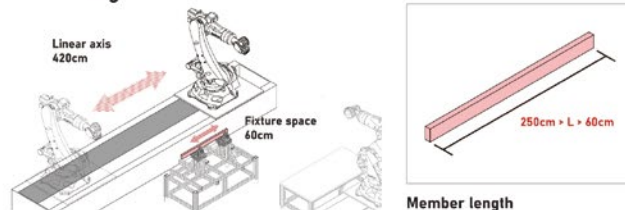
2nd Level
2x4 inch. lumber

1st Level
4x4 inch. lumber

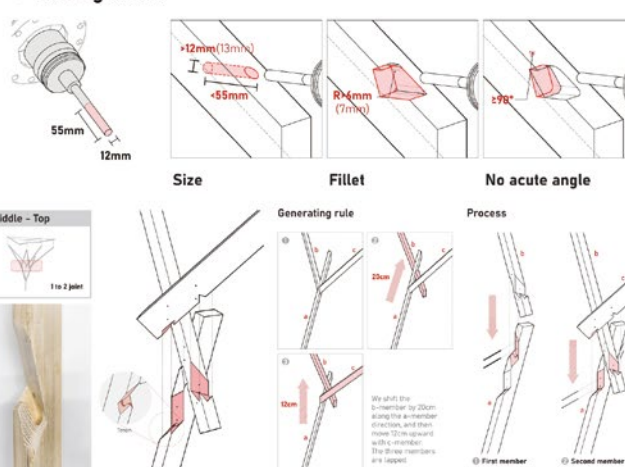
In this pavilion there are 4 layers of branches, and the trunks, which are the members in the first level, have the largest cross-section area.

FABRICATION CONSTRAINTS

① Working area



② Milling cutter



左 - 織蔭的整體構成關係；右 - 織蔭採用機械手臂輔助製造實現多向度木樺接頭的創新

三、教學上的全新挑戰

織蔭的學習歷程可以說是一場以實踐為導向的教育布局，從原本較為評量式的制式化學習，轉而培育學生在跨域合作能力、CDIO操作能力、PBL執行能力、創客實踐能力等四項的能力輸出。換句話說，本次織蔭的最大的特色之一在於場域實踐所帶動的學習歷程的翻轉，學生從專案的實踐過程中找到學習的動力與應用的價值，進而帶動能力的輸出形成學習過程中的質變。在課程的規劃上，我們將課程分成構思(Conceive)、設計到實踐(Design to Implement)、運轉(Operate)三大階段。構思階段(9

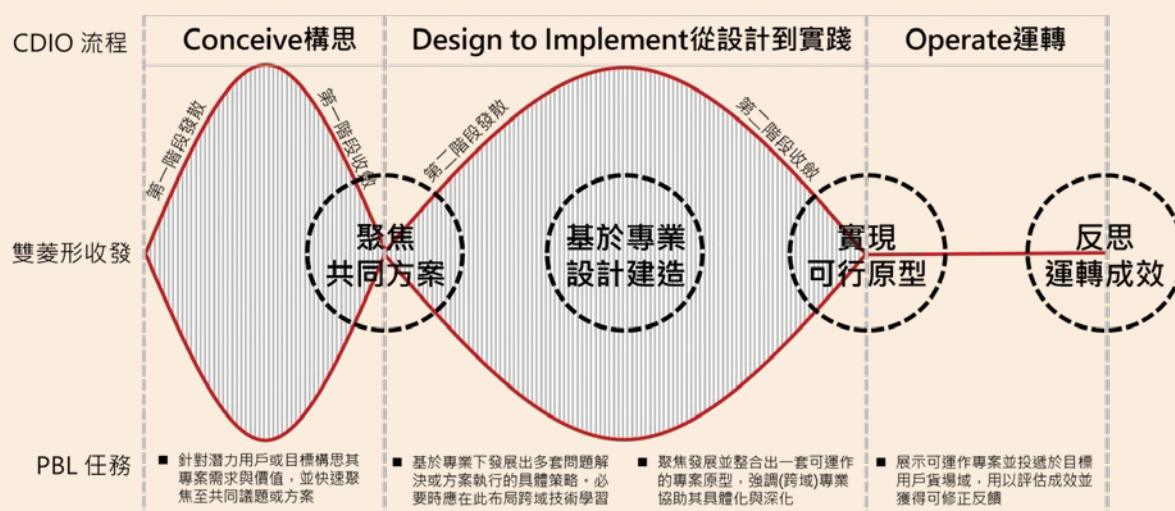
周)要求學生對設計議題進行提案，並透過第一次的雙菱形收發迴圈模式產出具備可行性的1:10設計提案，並在此階段的最後進行一次收斂評圖，決選出最終要共同進行1:1執行的設計提案；在設計到實踐階段(9周)，整組的學生透過第二次的收發迴圈，主要的核心目標是將上階段決選出的提案透過設計為製造的概念轉換成可運作原型。在過程中會搭配數個技術模組的微課程，協助學生從設計到實踐的跨域技術深化。本次中選的織蔭提案便是在此階段發展成成熟的專案，包括(1)建立設計到製造的可調式迴圈，使設計的調整能夠連動到製造歷程的產出，

而製造時所產生的問題或限制也能反饋回到設計修正、(2)製作實際尺寸的局部原型，將機械手臂主軸輔助製造多維度木構卡榫的創新工法進行技術驗證。在本階段末尾學生團隊會協作製造出一個全尺寸的可運作原型，並通過期末評圖的考驗。最後的運轉階段(N周)則是真正的在場域執行完整的構築，其實間持續的長短則取決於之專案作品自身的構成難度，例如織蔭雖然已在第二階段解決了大部分的關鍵技術與構法，但因其構成的造型較為複雜，所以在單元構件的製造上就花費了較多的時間，這也是學校要產出真實專案並使其真正運轉所會面臨到的時間課題。關於此點目前的解法是以18+N周的模式，也就是在學期結束後需要衍生數周進行最終的場域實踐歷程。這點也是師生共同面臨的兩難，有時學期制的週數並不足以完全支撐一個成熟專案的完全執行，究竟是要隨著學期結束還是應該出現衍生的執行時段？此時就應該回到教育的本質與本位

來思考，學習是教育的本質，學生是教育的本位，因此學期的結束並不一定代表學習的完成，亦不代表學生已然獲得可令其自身感到驕傲的學習成果與能力輸出。因此織蔭團隊所形成的共識是要利用+N的時間完成場域的實踐，除了希望能看到團隊的作品被實際的驗證並構築出來外，更希冀能夠藉此提升社會影響力，使織蔭能夠成為大家印證成大學生能力輸出的一個新高點。在此決議下，之蔭的實現過程進入了最終的運轉階段，更有趣的是除了最終在榕園一隅的建構實現外，團隊亦在因緣際會下將此作品帶入到了社區，以下會分別在後續的章節跟大家介紹。

四、融入社區的社會實驗

在正式進入榕園構築前，織蔭團隊接到了一個新任務。因為團隊在期末時所構建出的木構原型極具表現力，因此成龍溼地的社區協會希望能夠結合一個



以 PBL 專案模式整合 CDIO 流程與雙菱形收發迴圈的教學模式。



織風的建造過程。

構築競賽的舉辦邀請成大團隊作品進駐到社區。團隊評估後覺得這是一個推動大學與社區互動交流的契機，同時也能將團隊的作品往社會實踐的方向展現，因此便決議執行此支線任務。在經過深入社區的探訪與場勘後，團隊經過一周的設計發展，同時結合原本在學期中就已然發展出的技術及原型，最終以機械手臂蓋出全尺寸木作涼亭「織風」。該作品以成龍溼地紅樹林及其下紮的氣根為發展意象，結合漁村網魚的在地特色，轉化出一座能捕捉當地海風脈動的地景性構築。「織風」是由成大建築系沈揚庭老師領軍，七位學生設計師鄭崇明、李弈璇、傅政文、黃柏熹、郭建愷、李芷沅、王品蘋，以及四位技術助教王宥琦、黃廉凱、高有閔、廖士豪等共同完成的實構作品。「織風」最大的特色之

一在於其仿生的樹狀結構，除了使用仿生的演算法來模仿樹木生長的生成邏輯外，更結合了機械手臂發展出多向度的木樁工法，使得交織的木條能夠以最自然的型態嵌合在一起，就如同樹木自然向上展開的生長形狀。此外為了能夠適應成龍溼地的強勁海風，設計上進一步把漁網作為錨定結構的輔助裝置，一方面能夠以通透的魚網模擬紅樹林氣根交錯的在地意象轉換，另一方面交錯的網面更像一道道的捕風網，當風在網內流動時所帶動的波浪狀擺動，讓該作品成為一道模糊自然與人為的地景建築。當織風這件作品矗立在社區時，我們看到的



織風以編織捕風的概念在成龍溼地展現一座地景式的構築。

只是該作品與成龍溼地風林河海的融合，更看到了社區與學校的連結。或許我們所談的大學社會責任與社會影響力，在這件作品的實踐與被使用的過程中，得到了最好的驗證。

五、榕園一隅的共創印記

「織蔭（Interlace Forest）」坐落於成大光復校區榕園旁的圓環角落，地處小西門與大榕樹連線的延伸軸線上，因此從作品內部便可以將視線連結到光復榕園的主軸上，成為一個極佳的校園地景觀察點。為了能更好的回應這個節點的特色，織蔭企圖設

計一座仿生的森林來延續榕園的整體意象。團隊從觀察榕園榕樹群的生長模式中發現榕樹水平展開的樹冠形塑了「在樹下」的各種可能，因此在設計織蔭這個作品時，在空中水平展開的樹冠便成了主要的發展方向。團隊設計了八根向下落地的根部，如同榕樹的氣根一般，一方面透過僅八根的微小佔地面積盡量留出更多的地面層活動空間，另一方面這八根根部同時也向上透過主幹與分支托起一個水平的共同樹冠層，模擬多個樹冠相互編織集結所形成的樹蔭效果。在這樣的設計架構下，從根部往上交織托起樹冠層的主幹層和分支層便承擔了最主要的視覺效果。為了能讓這兩層能夠有樹枝交纏盤繞的效果，以便最大限度的再現自然森林的視覺意象，團隊透過仿生的演算去模擬樹枝的展開與交錯，讓

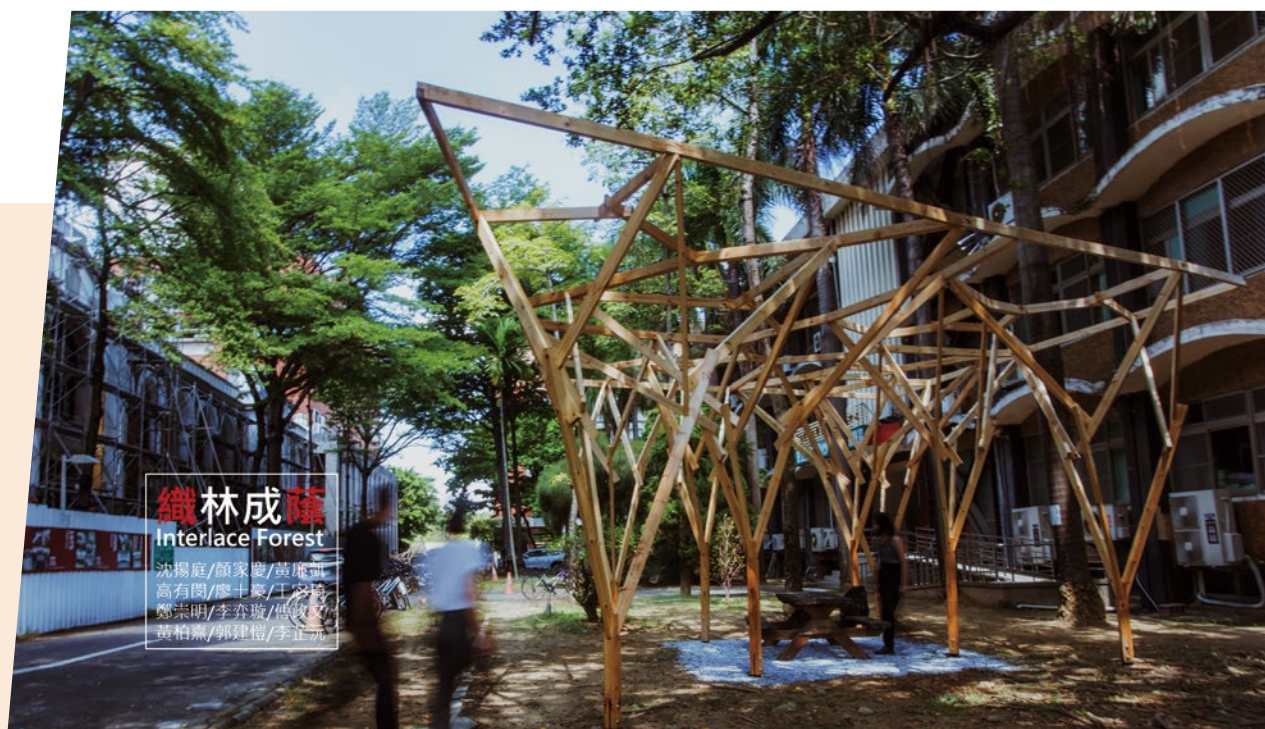
每根木條的展開方向都是不同的，但同時又能巧妙地在重要的節點處匯聚在一起，如此一來便能夠創造出看似有機時則有序的構成邏輯，由下而上逐次的展開，最終托起共同的樹冠層融合成一整體的結構，達到織蔭成林的整體意象。

織蔭在仿生造型的設計下所要克服的最大挑戰之一便是如何能對每根木條構件做出客製化的加工。織蔭團隊運用數位智造工坊(RAC-Coon)的機械手臂，以所設計的數位雙生模型搭配機主軸來進行多向度木樺的加工，使每根木條構件都能夠依照模型所描繪的樣態被加工出對應的木樺接頭。此步驟我們稱為「客製化預製」，同時也是整個設計到建造

流程最為繁瑣卻精緻的一環，最大程度的展現了人機協作的未來性，由人出設計的腦力，機器配合完成精密的製造。當所有的木條構件都依此流程被客製化完成後，便能夠被準確的依照構成的次序進行組裝。最後組裝的過程相較於一般的施工現場有兩點的不同，首先是織蔭所採用的是木結構樺接的乾式施工方法，因此避免了濕式工法所需要的灌漿流程，再現場幾乎沒有第三方的材料介入，也不需要額外的加工，所有的接合關係都已在數位智造工坊以機械手臂提前精準的預製完成，大大減少了現場所需要的工項，同時也降低了施工上的難度。再者，預製的多向度木樺除了組裝方便外，因為各種



織蔭的製作與建造過程。



織蔭以織林成蔭的概念在成大榕園一隅創造了共同的實構印記。

構件的關係早已被設計在接頭處並製造出來，因此組裝的過程只要清楚的辨識組裝的順序，便能夠順利的將錯綜複雜的構件空間關係相互組裝成型，同時達到精準而簡易的施工流程，使建築物的成型就如同在組裝IKEA家具一般。最終織蔭整體結構體的組裝施工僅用了短短兩天，透過不到十位的同學便順利完成，以新時代的工法成為榕園一隅的共創印記。

織蔭讓數位工藝與智慧營建在樹下的相遇，同時也開創了兩個重要的里程碑，首先是將傳統木樺的原理透過多向度木樺接頭的製造推展到能適應各種造型的應用層次，大大增加了未來木構造型的可變性與多元性；另一方面，織蔭的整體流程透過數位雙生模型向前端整合仿生演算設計，以及向後端連結機械手臂輔助的數位製造，有效的使設計與製造形成一個可以往復調適的迴圈，為未來的智慧營建揭櫫了一條「設計為建造」(Design for Build)流程一體化的數位轉型之路。