

智能生產決策應用於 LED 分類機群組

劉曉薇
工業技術研究院
量測中心 工程師
rachel_liu@itri.org.tw

王浩偉
工業技術研究院
量測中心 經理
hwwang@itri.org.tw

黃煥祺
工業技術研究院
量測中心 業務經理
chico963@itri.org.tw

洪育民
惠特科技股份有限公司
研究發展處 副總經理
dick@fittech.com.tw

謝宜昇
惠特科技股份有限公司
研究發展處 經理
cliff@fittech.com.tw

摘要

常見的 LED 晶圓為四吋，依據晶粒大小每片晶圓中可能有幾千顆至二十萬顆晶粒不等。LED 分類機會將晶圓上的晶粒分出不同的等級(bin)，之後會將此批同等級的晶粒透過 LED 分類機挑檢到同等級藍膜(blue tape)中，由於點測後晶圓等級高達數十種，傳統的作業中由人工經驗法則判斷執行派工與生產機台決策，可能造成投料不穩定、作業時間過長等現象。有鑑於此，本文發展一套 LED 分類機群組智能生產架構，在 LED 分類作業前，每批投料晶圓有效計算，以輔助提供有效的決策資訊，包含需要生產幾台 LED 分類機台、每片 LED 晶圓如何投料，使得 LED 分類機群組可具備智能生產之功能。實驗結果顯示，分類機生產作業最多可改善 5.06%，並提供不同的決策選擇。

關鍵詞： LED 分類機、分類、生產決策系統

Abstract

The common size of an LED wafer is four inches and there could be few thousand to two hundred thousand dies on a LED wafer based on the size of each die. The same bin from a batch of dies can be divided into the same level blue tape, which is an LED output holder after binning. The number of binning is more than fifty. Traditionally, the dispatching scheduling and sorter capacity are determined by operators based on their experience, which can cause a longer production time and the unstable decision. As a result, this paper aims to develop an intelligent production decision structure of LED sorter groups that can assist and provide the decision information with the operator. The result showed that the proposed system can improve at most 5.06% of the production time and provide the decision information.

Keywords: LED sorter, binning, production decision system

1. 前言

發光二極體(Light emitted diode ; LED) 已廣泛被使用在不同的領域，舉凡戶外使用的照明展示燈、建築物顯示牆、街燈、紅綠燈、指示燈、大眾運輸系統等等，至戶內使用的燈具、顯示器等等，LED 燈無所不在。LED 超過半數為照明使用設備，以及電子零件、運輸系統 [1]。

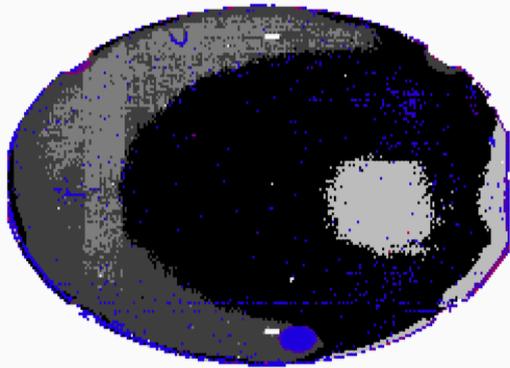
由於 LED 在節能與環保上之優勢已大幅取代傳統的白鹵素燈源，使得各國 LED 製造商上下游無不在技術方面積極研發並提升自我競爭力。台灣的 LED 產業，於 30 多年的努力與研究下，目前成為世界產量第一，產值已達千億台幣。台灣 LED 光電產業具有高品質、低成本的競爭優勢，成長率與產業規模高於全球平均值，尤其是在 LED 磊晶及封裝上，因擁有完整的產業鏈及優秀專業人才，已是全球最主要的供應國家之一。近五十年，LED 相關的領域發表與專利也持續攀升中，截至 2012 年已高達數千篇論文索引 [2]。

然而，LED 晶圓目前仍屬四吋晶圓居多，每片晶圓上之晶粒可能包含有三千至數十萬顆晶粒不等。一般而言，晶粒越大表示該晶圓上面的總晶粒數越少，反之亦然。在 LED 後段製造程序中，會將以切割好的晶粒輸送至點測機上測試，主要測試 LED 晶粒的電性測試，依據客戶提供電性測試表，可將電性測試之結果把 LED 分類至數十至數百種等級，接著再使用 LED 分類機將該批等級的晶粒分裝在一起後出貨。簡易的製造流程可參考圖一。



圖一、LED 晶粒簡易製造過程

藉由分類機會將 LED 晶圓上的晶粒分出不同的等級(bin)，之後會將這批同等級的晶粒透過 LED 分類機挑檢到同一藍膜上(blue tape; BT)。如下圖二所示，至少有兩萬顆晶粒。晶圓上不同的等級晶粒與對應該等級晶粒總數，不同等級晶粒將由顆數最小者挑到最大。以這一片晶粒而言，晶粒有 20 個等級，則至少需要 20 個等級的藍膜，每等級藍膜具有滿載收集上限。然而，晶粒在挑檢的時候，不同等級的晶粒需更換藍膜。這些零零星星的等級晶粒，若在一批晶圓中無法湊成一個藍膜數量，會定義為散裝等級(side bin) 晶粒，反之則為主要等級晶粒(main bin)。隨著散裝等級的數量增多時，就材料面而言，則會耗掉一片藍膜的底材與底材準備工作時間；就機台稼動率角度，散裝等級晶粒越多則機台因該等級藍膜的交換而浪費時間，最後在各機台產出的相同等級的晶粒還需要再重工一次，將其合併後集合入庫。這一連串的過程中，無不僅增加耗品費用，同時也犧牲人力與機台稼動率。



圖二、LED 晶圓與其晶粒示意圖

每一批晶圓待點測機作業後與客戶電性分類表比對，才可以得知該批晶圓等級晶粒之分類圖。然而電測後晶圓投料至分類機台中，目前仍以隨機投料為主，缺乏前端資料分析系統支援，此乃導致二次重工次數無法最低、藍膜成本浪費，並且無法有效提升機台稼動率等議題。為了解決散裝等級晶粒過多之議題，本研究提出一 LED 分類機自動化生產系統架構。可提供每機晶圓生產前之投料分析決策系統。而

作業者可以從作業執行的立場，提升至管理監控的角色。

2. 文獻回顧

本章節文獻回顧包含智慧工廠、工業系統、派工法則等三小節，後續依據文獻將討論之：

2.1 智慧工廠[3]

智慧工廠乃利用智慧技術的生產模式，利用智慧系統的平台取代部分人工作業。智慧化工廠管理系統藉由資訊的傳遞，從客戶下訂單開始到成品完成，針對所有的製造程序與生產過程進行最佳化的管理。此系統具備一定的容錯功能與自我學習能力，透過網路與虛擬實境的技术結合，不斷加強智慧工廠的功能，其智慧工廠需具備以下特徵：

(1)自組織能力：組織能力乃表示系統具有思維能力、處理和再生資訊的能力，通過模型、相關規則和知識庫，進行經驗、邏輯或創造性思考，使系統具有反應能力和智慧的行動，支援快速的智慧管理決策，使生產作業更加具備智慧和可控性。

(2)自我學習和調整：系統可以從知識庫或專家直接獲取知識，可以依據指令、狀態變化和工作任務，學習和積累相關知識，改進控制策略。在資訊不完整或出現誤差時，可以自我判斷、自我調整，具有容錯能力。

(3)廣泛的網路相聯：通過網路落實人與物和物與物的相聯，讓工廠內外資訊互聯互通，感測器與工業無線網路通信技術、RFID 通信技術、WI-FI 通信技術，以及3G、4G 通信技術相結合，達到資訊的即時傳遞，確保系統運行的有效性，使不同階層使用者得到工廠真實的資訊，可以遠端監視現場狀態。

(4)全面即時的現場資料收集：廣泛應用RFID、感測器等感知設備。由感測器構成資訊感知單元，感知了物體的資訊；RFID 賦予物體電子編碼，構成了完整的感知網，滿足即時自動採集功能。透過智慧感測器來判斷、分析和處理資訊。

(5)模擬與預測：模型是智慧型系統的基礎之一，透過模型可以在工廠投產進行模擬，檢查缺陷，協助設計和施工；在工廠運營過程中對生產計畫、生產運營、能源消耗等進行情境模擬分析，以利對工廠運行狀態進行描述和預測，提早發現瓶頸和問題，提出調整和改造建

議。

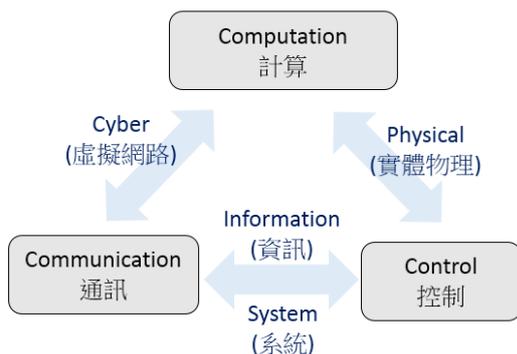
(6)智慧維護管理：經由對現場設備的即時監控和建模分析，可以自動產生維修計畫，系統會自動提醒管理人員及時對設備進行維護，預防事故的發生。設備資產具有唯一的識別碼，可以自動跟蹤資產的數量和位置，合理安排採購計畫和庫存。

2.2 工業系統

近年來，各國政府對於產業轉型分別提出因應的轉型對策，以美國期盼再工業化而言，聚焦於能快速商品化的新興科技，如積層製造，並且分享政府研發設施，促進產業一條龍，協同開發以降低商品化風險。德國政府乃提倡第四次工業革命，將設備整合資訊科技智慧化形成系統解決方案，亦完成先進設備進口代替，運用設備自動化促進全產業高值化。

其中德國以虛實化系統(cyber-physical system; CPS)為核心，以智慧工廠概念為精髓，整合資訊通訊軟硬體，發展德國工業 4.0。在生產與製造系統中，整合計算(computation)、通訊(communication)與控制(control)之虛實化系統連結物聯網，建構新的智慧製造與服務的商業模式。

若將 CPS 的概念應用至生產製造過程中，則可以稱為 CPPS(cyber-physical production system; CPS)，其中包含了虛擬設計分析、感測、控制、製程與設備、資訊交換、生管系統。以網路化方式管理工廠與企業管理流程，避免不必要的浪費且縮短客制化的產品交貨時間。



圖三、CPS 架構圖

2.3 派工法則

派工法則(Dispatching rules)乃一群工件在作業程序中的加工順序，(Scheduling problem, Conway 1967)。排程派工的結果則是哪個加工件(which)在哪一個時間(when)至哪一個資源(what/where)執行作業。一般工廠排程大多數使

用現場的經驗法則，此種方式雖然可有效達到決策，但是往往因為決策品質犧牲了成品完工總時間或機台的閒置時間。然而，常見的派工法則有許多種，可分成以下三類[4]:

1. Blackston 等人將派工法則分成的四大類，包含以處理時間為基礎，SPT(shortest processing time)、以交期為基礎，EDD(earliest due date)、處理時間與交期的組合的方法，CR(critical ratio)、不屬於處理時間為基礎，也不屬於交期為基礎的法則，WINQ (work in Queue)[5]。
2. 近似解之方法(Approximation method): 如啟發式演算法(Heuristic Algorithm)、局部蒐尋法(Local Search)。局部搜尋法常見的有塔布搜尋法(Tabu search)、基因演算法(Genetic Algorithm)、模擬退火法(Simulated Annealing)。此類的近似解法其績效也相當理想，但求解時間較長，實務可能較難接受。
3. 最佳化解法(optimization method): 即是透過數學規劃，如整數規劃(integer programming)、混整數規劃(mixed integer programming)、動態規劃(dynamic programming)或是分枝界線法(branch and bound)來求得最佳解。此種方法求解時間可能更長，雖然不廣泛在實務上應用，但是許多生產排程之規劃最佳化求得之最佳解可做為績效評估之準則。

Shiang 等人說明 LED 分類工作站乃是一個開放式生產作業(Open shop scheduling)，而其分類為非確定性 (NP-hard) 議題。Shiang 等人為了解決此問題，提出兩階段式求解方法。第一階段使用完工時間(Make span)評估五種派工順序的優劣，第二階段同時分析求解品質與平均等候線去尋找最佳的派工法則[6]。

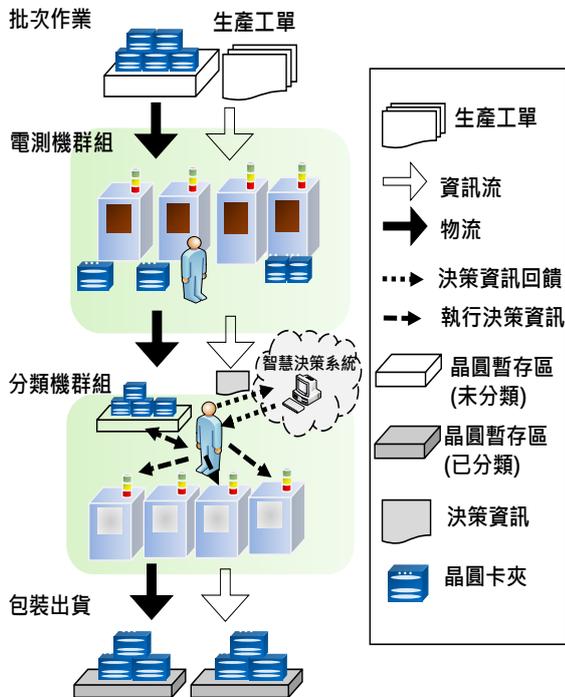
3. 智能分類機系統

3.1 系統架構

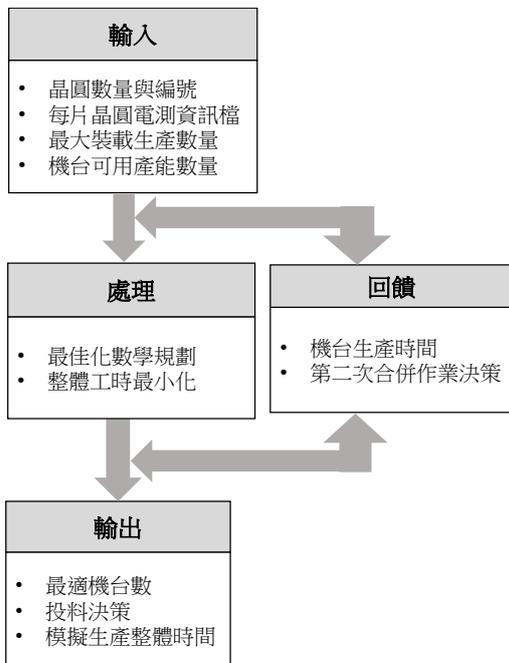
整體架構從接單後、訂單生產、LED 晶粒電測作業、電測作業後依據客戶表產生分類結果，之後根據分類結果與智慧決策系統投料至分類機群組生產。智慧決策系統可依據現有的產能、生產作業時間、晶圓片數計算最佳的(a)生產機台數量；(b)最短生產時間(make span)之投料決策。系統架構圖如圖四所示。

3.2 智慧生產決策系統

本智慧生產決策擬採用最佳化解法，亦即透過數學規劃求解，制訂輸入、輸出、處理等單元，透過機台生產時間回饋與規劃計算，可重新得到第二次 side bin 的作業排程，如圖五所示。數學規劃說明可參考[7]。



圖四、系統架構圖



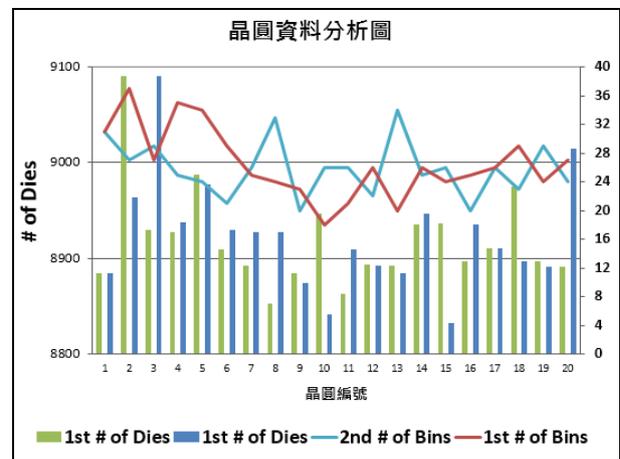
圖五、智慧生產決策架構圖

4. 測試實驗與討論

4.1 生產決策派工實驗

本研究採用數學規劃模擬方式，首先蒐集分類機的作業時間參數，包含入料和更換時間 450 秒、晶圓藍膜載入時間 99 秒、分類機換 bin 時間 22 秒，晶粒挑檢時間 0.09 秒，晶粒合併時間 200 秒。

其次選用兩批經過電測的晶圓，每批晶圓 20 片，每片晶圓的 bin 數至少 20 個，每批總 bin 數至少 60 個，共獲得兩批電測分 bin 數據檔案。圖六為投料實驗之兩批電測分 bin 數據分佈圖。橫軸為晶圓編號，左邊縱軸對應直方圖中之每片晶圓之總晶粒數，右邊縱軸對應直方圖中每片晶圓之 bin 數。



圖六、投料晶圓分析圖

測試實驗分類機台上限為 8 台，假設這 8 台分類機為相同獨立分配(independent and identically distribution; i.i.d.)之分類機。

將兩批資料依據數學規劃求解，可得到模擬數學式建模時間、參數輸入時間、求解時間，和求解後之兩批模擬工件之作業時間。根據建模時間與求解時間，智慧決策生產系統可提供機台數與對應的模擬整體作業時間，請參考表一。

表一、系統模擬測試結果表(單位:秒)

| 批次項目 | 第一批 | 第二批 |
|-----------------------------------|---------|---------|
| 參數與決策變數輸入時間 | 7.994 | 6.546 |
| 模型建立時間 | 0.161 | 0.149 |
| 求解時間 | 200.273 | 200.269 |
| 第一次作業分 bin 時間(1 st PT) | 18084.9 | 18162.3 |
| 散 bin 合併作業時間 | 8400 | 7600 |
| 整體作業時間(Makespan) | 26484.9 | 25762.3 |
| 生產決策開啟機台數 | 2 | 2 |

第一批與第二批投料決策與對應機台數量，可參考表二。第一批在分類機 1 中分別有 33 種晶粒等級，在分類機 2 分別有 35 種晶粒等級；第一批在分類機 1 中分別有 31 種晶粒等級，在分類機 2 分別有 33 種晶粒等級，模擬評估時間第一批整體作業時間(Makespan) 26484.9 秒，大約 7.35 小時，第二批整體作業時間 25762.3 秒，大約 7.15 小時。

相較於原有人工決策所花費的時間(大約 5 至 15 分鐘)，本決策系統根據此數學模型決策建模與求解時間小於 210 秒(3.5 分鐘)，除了可節省人工決策時間，並且可獲得最佳投料方案。

表二、晶圓編號對應分類機投料決策

| 晶圓編號 | 分類機 1 | 分類機 2 |
|------|---------------------------|--------------------------|
| 第一批 | 2,7,8,9,10,11,12,13,15,18 | 1,3,4,5,6,14,16,17,19,20 |
| 第二批 | 1,2,6,9,10,11,12,16,17,19 | 3,4,5,7,8,3,14,15,18,20 |

4.2 實驗對照組

根據 4.1 章節提供的最佳決策與仿照現場的投料法則計算，第一批晶圓與第二批晶圓的投料分別以晶圓編號 1 至晶圓編號 10 投料至分類機 1，晶圓編號 11 至晶圓編號 20 投料至分類機 2。相對的投料結果與整體作業時間，若為人工投料的話，第一批整體作業時間為 27002.8 秒，大約 7.35 小時，第一批整體作業時間為 27136.4 秒，大約 7.53 小時，其最大幅度改善時間可達 5.06%，如表三所示。

表三、晶圓編號對應分類機投料決策(單位:秒)

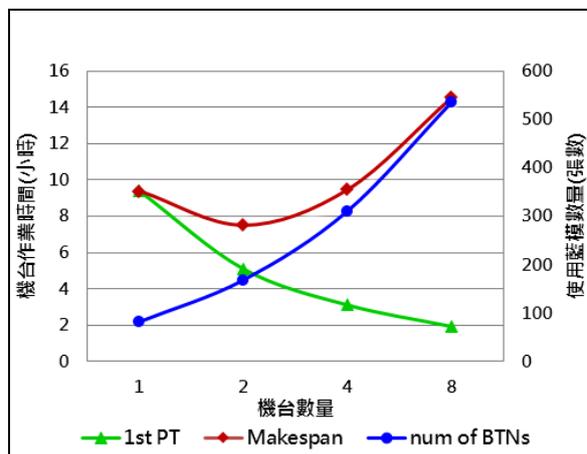
| 分類機 | 分類機 2 | 整體作業時間 | 改善績效 |
|-----|-------|---------|------------------|
| 第一批 | 最佳化求解 | 26484.9 | 1.92% |
| | 人工指派 | 27002.8 | 517.9 / 27002.8 |
| 第二批 | 最佳化求解 | 25762.3 | 5.06% |
| | 人工指派 | 27136.4 | 1374.1 / 27136.4 |

4.3 決策分析討論

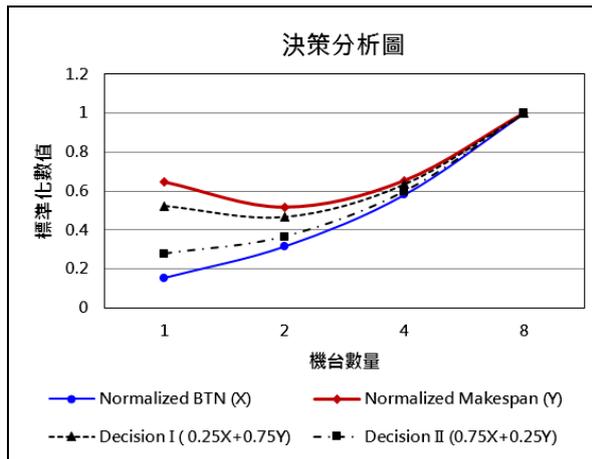
根據第一批的結果，分別測試不同的生產機台數量，分類機台產能數最高為八台，由 4.2 章節可得到最短的作業時間為開啟兩台機台，測試情境包含一台、兩台、四台、八台等情境分析，情境生產一台分類機表示第一批 20 片晶圓全部投入一台分類機，情境生產兩台分

類機表示第一批 20 片晶圓分別投入兩台分類機各十片，情境生產四台分類機表示第一批 20 片晶圓分別以每 5 片投四台分類機，情境生產四台分類機表示第一批 20 片晶圓分別以每 2 片與每 3 片投八台分類機。依據機台生產數量對應不同的第一次作業分 bin 時間(1st PT)、整體作業時間(Makespan)與使用藍膜數量趨勢分析圖可參考圖七，可觀察到開啟兩台機台的整體作業時間是最短的，相對地，藍膜的使用數量會在機台開啟越多的情境下使用張數越大。整體作業的時間在一台、兩台、四台和八台的時間分別為 9.38 小時、7.5 小時、9.47 小時、14 小時；藍膜使用數量在一台、兩台、四台和八台的數量分別為 82 張、168 張、310 張、534 張。從圖八中可以得知情境一使用的藍膜數量成本是最低整體作業時間卻是次低。

由於設備製造商或生產代工商的成本立足點不同，可能會期望最佳的決策資訊可能為整體作業時間最少化或藍膜使用數量最少化，若選擇使用藍膜最少化可選擇僅生產一台機台，若需要整體作業時間最少化可選擇生產兩台機台。若需要評估整體決策包含最少數量與最少化藍膜張數，可先把此兩個指標值型標準化之後，令標準化藍膜數為 x ，令標準化整體作業時間為 y ，給予不同的權重值， w_1 與 w_2 ，可得到不同的決策曲線， $Z = w_1x + w_2y$ 計算決策成本，測試兩種決策 $w_1 = 0.25$ 、 $w_2 = 0.75$ 以及 $w_1 = 0.75$ 、 $w_2 = 0.25$ 分析，結果可參考圖八，數值越高表示成本越高，前者決策則會生產一台機台，後者決策則生產兩台機台。



圖七、機台作業時間對應藍膜數量趨勢圖



圖八、決策分析圖

5. 結論與建議

5.1 研究貢獻

本文提出一套智能生產決策架構，應用於 LED 分類群組。由於 LED 分類等級散 bin 造成分類決策議題，需要智能化與最佳化協助人工作業。過去決策由現場作業人員憑經驗法則執行判斷，如同一個黑箱作業，將導致決策的穩定度與準確性下降。本文提出一個輔助智能生產決策之架構，包含 LED 分類機群組智能決策，如需要生產幾台機台、哪些晶圓如何投料至哪些機台等智能決策，將此情境應用在 LED 分類機群組中，以達到智慧生產之功能，同時作業員也可以從生產作業之角色提升至管理與決策之角色。

5.2 未來研究建議

本文未來研究建議可包含以下幾點：(1) 模擬時間乃依據分類機各個作業所預估的時間，此時間的誤差將造成生產決策預測之誤差累積。如何縮短預測誤差，將納入未來研究議題。(2) 本研究架構目前仍在模擬階段，為了達到計算、通訊與控制等三大架構，未來在溝通介面建立完善後，會將此架構實際應用於 LED 測試分類機群組中，以測試虛實化整合系統之效能。(3) 此架構仍在分類機出入料盒需要人工搬運的情境下測試，後續若分類機為全自動化搬運架構下，需要考慮的可能為在藍膜張數可以最小化的情境下，出入料盒需要怎麼移動與路徑最佳化。

6. 致謝

感謝國立交通大學工業工程與管理學系陳勝一教授與其學生陳奕豪、吳宇軒和 Delvinia Su 提供數學規劃測試模型和實驗結果。

參考文獻

- [1] Filtz, J. R., Dubard, J., Renoux, D., Trang, C. T. V., Enouf, O., and Gaudemer, J., "Lighting: Panorama of The Capacities and Impact of Metrology on The Development and the Improvement of LED Technology," **the 17th International Congress of Metrology**, 21 September, 2015
- [2] Sandersona, S. W., Simons, K. L., "Light Emitting Diodes and the Lighting Revolution: The Emergence of a Solid-State Lighting industry," **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol. 34, pp. 30-48, 2014
- [3] 陳偉星、余豐榮，智慧型工廠現場管理雛形系統開發之研究—以某汽車零部件公司為例，**中國工業工程學會**，103 年度年會暨學術研討會。
- [4] 劉仲立，雙重資源下開放工廠派工法則模擬研究，碩士論文，**朝陽科技大學工業工程與管理學系**，2003。
- [5] Blackstone, J.H., Phillips, D.T., and G.L., Hogg, "A State-Of-The-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations," **International Journal of Production Research**, Vol. 20, pp. 27-45, 1982
- [6] Shiang, W.J., Lin, Y.H., and Rau, H., "Application Of Simulation To The Scheduling Problem for A LED Sorting System," **Proceedings of the Eighth International Conference on Machine Learning and Cybernetics**, Baoding, 12-15, July 2009
- [7] Chen, S.I., Chen, Y.H., Wu, Y.H., Su, D., and Liu, H.W., "Efficient MIP Formulations of Large-Scale Scheduling Problems in LED Sorting Process," **European Journal of Operational Research** (2016 prepared paper)