

# 機器人容器內取料技術介紹

## An Introduction to Robot-Based Bin Picking Technology

張彥中、林欣儀

Nelson Yen-Chung Chang, Hsin-Yi Lin

製造業、金屬加工業、食品業產線上有不少上下料工作目前仍然仰賴人工進行，然而隨著缺工情況日益嚴重，機器人進行自動化上下料需求逐漸浮現。但是不少難以自動化進行上下料的情況是工件散亂堆放於容器內，如零組件、金屬粗胚、食品包裝等，這類上下料情況若要以機器人進行取料需要機器人具備智慧視覺判斷容器內工件姿態，再進行夾取取料，這稱之為「隨機容器內取物 (Random Bin Picking, RBP)」。本文將說明容器內取料技術發展的產業需求與介紹應用市場，再介紹國際上較具代表性的容器內取料技術與應用，最後指出目前觀察到的技術發展方向。

Many loading and unloading tasks in manufacturing, metalworking, and food processing relied on human labor. However, as the issue of labor shortage grew, demand for robot-based automatic loading and unloading grew as well. Most cases which traditional automation found difficult to handle were objects randomly stacked within a container. To pick an object out from a container in such cases is called “random bin picking (RBP)”. The need for RBP is common for components, intermediate metal parts, and food packages during manufacturing or processing. Robots must be equipped with intelligent vision to determine the pose of objects and pick objects out. This article introduced the background and potential market of RBP first. Then this article briefly described several representing RBP applications in the world. Finally, a concluding remark on future development of RBP technology was given.

### 一、容器內取料

容器內取料，簡單來說，就是將一個容器內堆放的料件，取出來。舉例說明，一個盒子內堆放了約二百個相同的金屬工件，為了將這些工件送到接續的加工站，需要自盒子內將工件取出，並放到下一個加工站，這樣的動作就是容器內取料。

目前容器內取料，若工件重量在人所可以負荷的範圍下，大部分仍然採用人工的方式進行，尤其是在人工相對低廉的東亞與東南亞。然而產線上工作的人員，一個工作日下來不斷進行重複的容器取

料工作超過數千次。隨著機器人與自動化技術的進步，為何目前尚無法將這樣重複性的簡單工作，由機器人代為執行呢？事實上少部分容器內工件是整列好的應用，目前是可以以機器人進行容器內取料的上料工作，但是當料件在容器內是未經過整列的情況下，料件在容器內是散亂堆疊堆放的情況下，問題就變複雜了，這樣的取物我們稱之為隨機容器內取料 (random bin picking, RBP)，而現在機器人技術僅擅長針對整列過的容器內，尚難以有效且可靠地進行隨機容器內取料。另一個問題則為，現行做法可以設計專門對應某種料件的整列器在搭配機

器人取料；但是隨著產品生命週期簡短，製造逐漸往少量多樣趨勢發展，料件種類繁多且換線快速，針對特定料件開發的整列器需要常常更換，經過多次換後將成為可觀的設備成本；另一方面有的料件可能因形狀與重量特性而沒有合適的整列器可用。因此目前大部分製造業者還是選擇彈性非常高的人力進行 RBP 上料的工作。

然而近年來工資不斷上漲，如中國預定未來五年每年提高基本工資 10% 以上<sup>(1)</sup>、台灣基本工資也不斷承受調高的巨大壓力、歐美日已經高居不下的薪資標準，將使人力進行 RBP 上料工作的解決方式遭遇過高人事成本的挑戰。另外一方面，隨著生活水準的改善，人們也逐漸轉變為傾向從事非重複性的工作，這也造成製造業遭遇嚴重的勞工短缺問題。短期內或許還可以透過引入外籍勞工應急，但是長期而言人事成本超出負荷與缺少勞工的問題將日益重要<sup>(2)</sup>，再加上歐美日皆以發展先進智慧自動化技術吸引製造業工作回國<sup>(3)</sup>，台灣業者未來勢必面對更險峻的國際競爭。基於這樣的觀察，發展智慧自動化來彌補缺工的問題將是製造產業生存與否的重要選項之一，而以機器人進行 RBP 取料更是智動化不可或缺的重要關鍵技術之一。

## 二、容器內取料的應用與市場

RBP 自 1986 首度提出<sup>(4)</sup> 以來發展至今近三十年，直到最近五年才開始漸漸實際應用於工業界。而 RBP 領先技術目前則是由歐美日所掌握，這些驗證過的 RBP 應用可分為汽車組裝應用與包裝應用。在汽車組裝的範疇中，RBP 可應用於引擎、汽缸頭、曲軸、小齒輪、連桿、煞車盤、軸承、機車搖臂等金屬加工的上料，而在包裝應用範疇中則包含藥丸包裝的裝箱、零食包的裝箱、各式各樣的管狀料件整列、射出塑膠產品整列等。

容器內取料可應用於金屬鍛造中的上下料、鑄造業中的上下料、工具機的上下料、各種產品組裝中的取料；目前這方面的上下料仍然仰賴人工，但近年來缺工情況卻帶給相關業者不少困擾。根據相關業者數量估算，台灣相關業者容器內取料的潛在需求估計約至少有 1500 套，而中國大陸地區則估

計潛在需求量可能超過 10000 套。在目前歐美日擁有 RBP 技術卻不願輕易輸出國外的條件下，兩岸這部份的市場目前尚未被開發。

## 三、機器人容器內取料技術趨勢

歐美日於 RBP 研究皆已投注大量時間精力，下面針對各國重大的 RBP 機器人單元介紹：

### 1. Fanuc RBP

Fanuc 為來自日本的全球知名主要機器人與工具機業者，早從 2000 年便開始針對產業機器人之自動化 RBP 上料進行研發，到 2006 開始具備基本 RBP 技術，並於 2009 開始陸續展示 RBP 技術。圖 1 是 Fanuc 2011 於日本東京國際機器人展 (international robot exhibition, IREX) 現場展示的 RBP 機器人單元，此單元將先透過深度視覺感測器取得容器內的深度影像 (depth image)，再判斷容器內工件的姿態，接著再以機器人吸取出工件完成取料。圖 2 為此 RBP 單元深度視覺感測方法運作時的照片，此單元採用結構光 3D 掃描 (structured-light 3D scanning)，其結構光採用斑紋圖案 (stripe pattern)，可得到極高精度的深度量測值。圖 3 是此 RBP 技術所能應用的工件種類，Fanuc 因於



圖 1. Fanuc 2011 展示之 RBP 機器人單元。



圖 2. Fanuc 2011 展示之 RBP 單元採用之光柵式深度視覺感測器。

RBP 方面進行多年的研究與經驗累積，其 RBP 目前能夠處理多種不同的工件。除了工業應用外，RBP 也可延伸應用於食品加工處理業，圖 4 是容器內取物應用於便當裝盒。

## 2. ABB RBP

ABB 為瑞士與瑞典合資的全球知名主要機器人與電機業者。ABB 曾經與系統整合業者 Braintech (2010 改為 Robotics Vision Technologies LLC) 於 2008 年合作開發 RBP 技術。圖 5 是 2008 年 Braintech 公開的 RBP 影片<sup>(5)</sup> 中節錄照片，此系統採用立體視覺進行深度視覺感測，再判斷容器內工件的姿態，接著再以 ABB 機器人與特製夾爪進行容器內工件夾取取料。圖 6 是 IREX 2011 ABB



圖 3. Fanuc RBP 可適用之工件。



圖 4.  
Fanuc RBP 應用於食品工業，以  
機器人自動化進行便當裝盒。

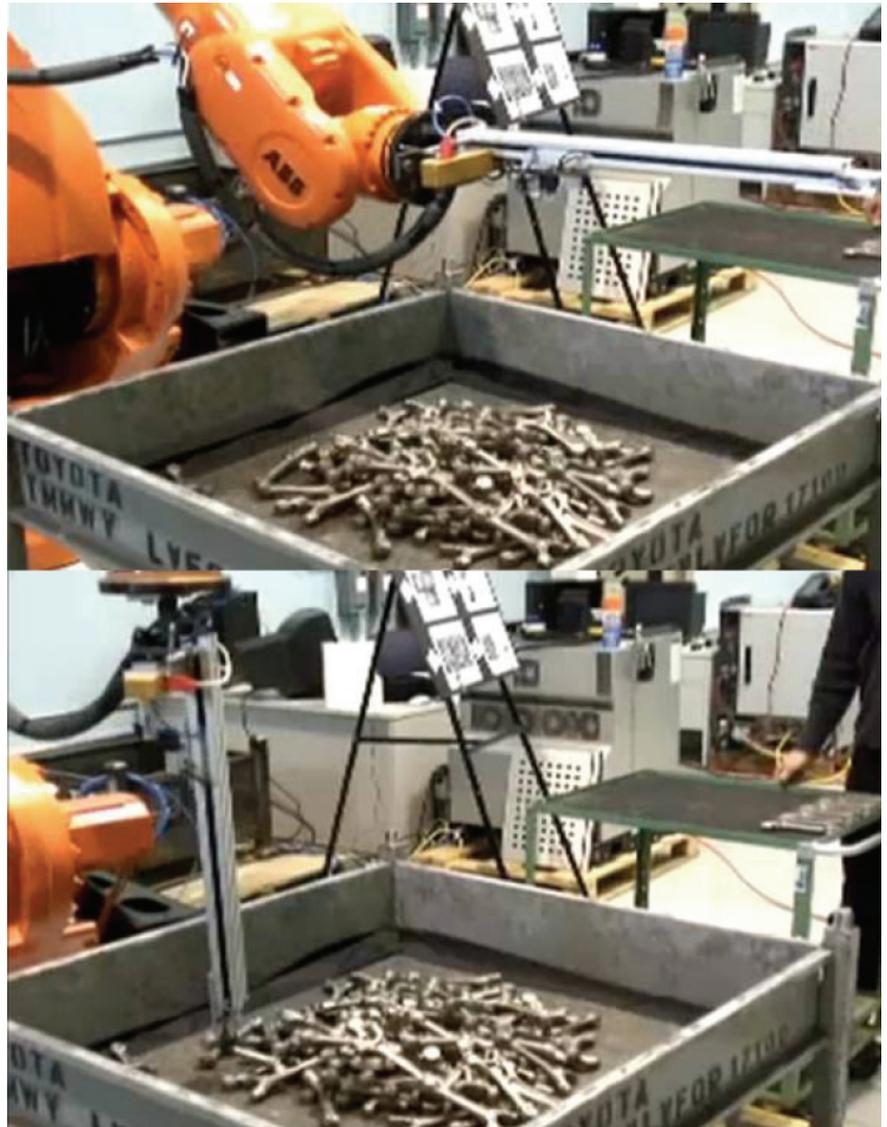


圖 5 .  
Braintech evf Trueview RBP 機器  
人單元展示影片。

以小型六軸機器人展示的 RBP 單元，整體系統一樣採用立體視覺進行深度視覺感測。

### 3. Yaskawa Motoman RBP

Yaskawa 也是日本知名的國際機器人業者，其 Motoman 產業機器人於車輛組裝自動化頗負盛名。圖 7 是 Yaskawa 於 IREX 2011 年展示的 RBP 機器人單元，此系統可辨識容器內不同種類工件與估測姿態，再由機器人夾取整列。圖 8 是 Yaskawa 的 MotoEye3D 深度視覺感測器，原理推測為主動光源與立體視覺。

### 4. Mitsubishi Electronics RBP

Mitsubishi Electronics 為日本的電子與電機產品的業者，本身也開發產業機器人。由於日本電子電機產品過去也因為市場與人工成本因素，而移往中國大陸與東南亞，但是隨著近年來中國飛漲的薪資，Mitsubishi Electronics 也在尋求將電子電機組裝透過自動化帶回日本國內。基於電子產品本業需求，Mitsubishi Electronics 的 RBP 專注於電子零組件的取料。圖 9 是 Mitsubishi Electronics 2.5D 的 RBP 機器人單元，圖 10 則是 IREX 2011 展示當時仍再開發的電子零組件 RBP 機器人單元。其深度視覺採用自家開發的深度視覺感測器，能透過多重打光的方式感測到鏡面或亮面物件的深度資訊。

### 5. 3DP RBP

3DP 是日本 20 年歷史的自動化與機器人系統整合業者。圖 11 是 3DP 於 IREX 2011 展示的 RBP 機器人單元。圖 12 為其深度視覺感測時的圖片，採用與 Fanuc 相同的斑紋圖案感測。

### 6. Nachi RBP

Nachi 是日本金屬焊接機器人業者，其機器人多半應用於汽車工業中，所以機器人多半為大型機器人。圖 13 是 Nachi 以 20 kg 荷重的機器人進行 RBP 取料工作，此 RBP 機器人單元透過雷射線掃 (Laser Scan) 的方式進行深度感測，再根據深度影像估測可夾取工件的姿態，接著再以夾爪進行大型工件夾取。



圖 6. ABB 於 2011 展示的 RBP 機器人單元。

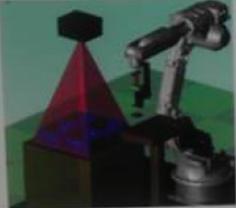
### 7. KAWADA Industry Nextage RBP

Kawada Industry Inc. 為日本大型重工業公司，業務含概鋼鐵建築、電子電機開發服務、機器人開發。此公司曾參與開發日本知名 HRP4 雙足人型機器人，圖 14 是針對產業應用開發出 HIRO 與 Nextage 組裝機器人。圖 15 為 Kawada Industry 於 IREX 2011 展示以 Nextage 機器人，自料件盒中將壓接端子夾出，進行後續接線組裝。Nextage 利用其手掌中的攝影機移動到不同觀測位置，形成立體視覺以進行深度視覺感測。2013 日本已有業者開始採用 Nextage 進行產品組裝自動化的實例<sup>(6)</sup>，預計未來將有更多業者將會跟進。

**YASKAWA 3Dビジョンを用いた複数種のランダムワークピッキングシステム**  
 Multiple Type Workpiece Picking System with 3D Measurement Unit  
 使用3種識別器の多種工件種別分選系統

**MOTOMAN-HP20D MOTOEYE-3D**

今回の展示内容：4品種のランダムワークピッキング  
 Demo: Robot identifies and picks up four different kinds of objects.  
 本次展出內容：類族分選4種工件



● MOTOEYE-3D

三次元形状計測ユニット	
最大視野：広視野タイプ	528×528(mm)
高精度タイプ	1010×1010(mm)
3D measurement unit	
Max field of view	
Short range unit	528×528(mm)
Long range unit	1010×1010(mm)
3種形状計測装置	
最大視野：広視野型	528×528(mm)
高精度型	1010×1010(mm)

■ アプローチ方向制限機能  
 下面のような複雑を回避するため、アプローチ方向を制限  
 Restricted direction of approach  
 Avoidance of complex shapes  
 ■ 広い視野・高い精度を活かし、1スキャンで4品種のワークを認識  
 ● サフトタイムの短縮を実現  
 ■ ワーク周辺の状態を認識し、ピッキング可能なワークを判別  
 (干渉回避機能、アプローチ方向制限機能)  
 ● ハンドと周辺の手探を回避  
 ■ Wide field of view and high precision for recognition of four workpiece types in a single scan.  
 ● Reduced soft time.  
 ■ Pick a workpiece after zone analysis with functions to avoid interference and to restrict the approach direction.  
 ● Prevented with hand-colliding with obstacle near vision.  
 ■ 先分科用大口径・高機能、通过1次扫描识别4种工件。  
 ● 软时  
 ■ 识别工件周边的状态、判断可分选的工件(避免干渉功能、通过方向限制功能)。  
 ● 避免手与周边的手探。

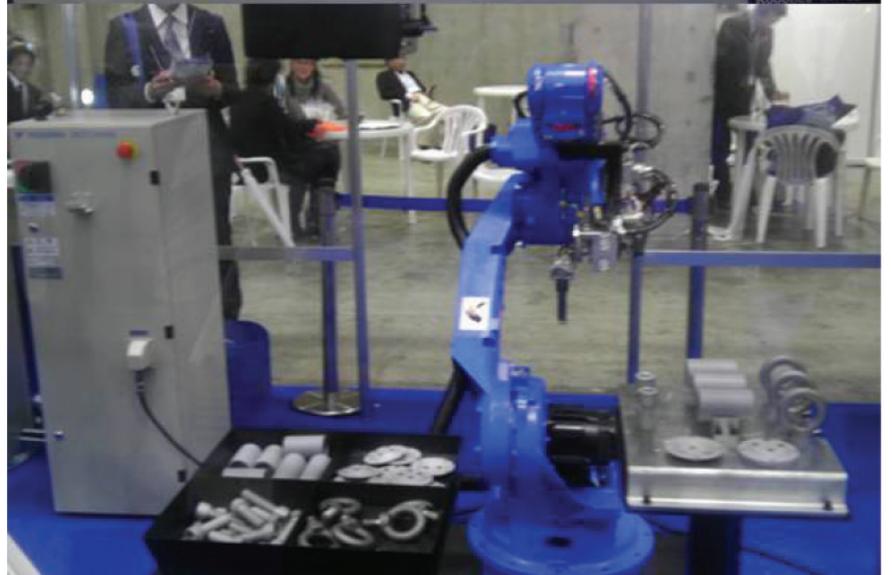
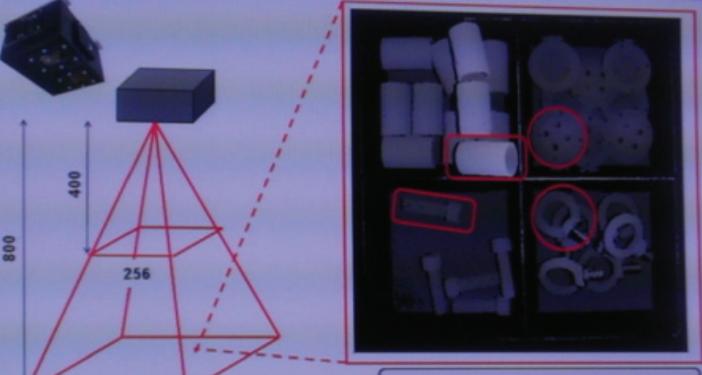


圖 7.  
 Yaskawa RBP 技術說明立牌與機器人單元

MOTOEYE-3Dの特徴①  
 広い視野範囲を活かした認識処理



★ 4つのパレットを1スキャンで認識  
 ★ ワークの表裏・向きを判別

YASKAWA Robotics Division

圖 8.  
 Yaskawa MotoEye3D 深度視覺感測器

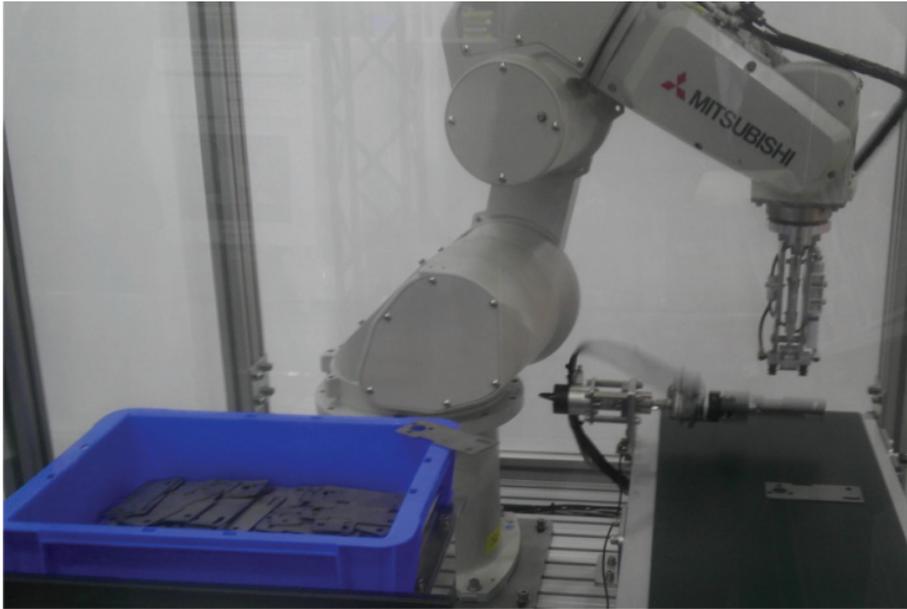


圖 9.  
Mitsubishi Electronics 金屬薄版  
RBP 機器人單元。



圖 10.  
Mitsubishi Electronics 電子組件  
RBP 機器人單元。



圖 11. 3DP 整合的 RBP 機器人單元。

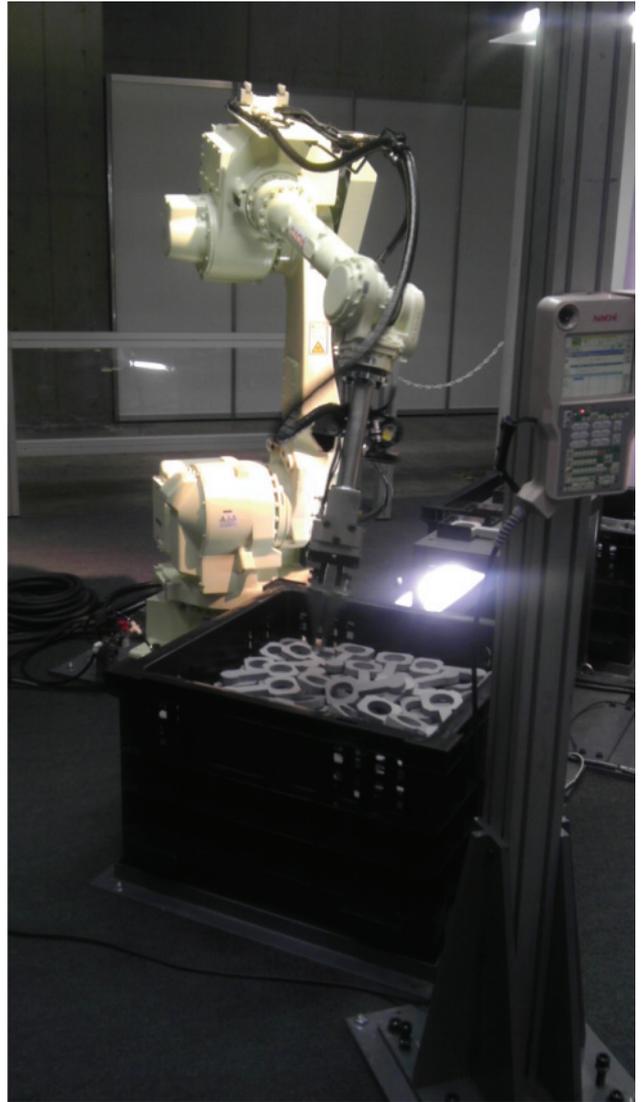


圖 13. Nachi 大型工件 RBP 機器人單元。



圖 12. 深度視覺感測時的斑紋圖案。



圖 14. Nextage 組裝機器人。



圖 15.  
Nextage 機器人進行壓線  
端子 RBP。

## 8. Scape Technologies

Scape Technologies 為南丹麥大學出來創業的 RBP 專門公司，過去曾與 KUKA 與丹麥技術院 (Danish Technology Institute, DTI) 合作。其開發的 RBP 技術目前可以整合為單一終端效應器模組，方便不同機器人使用者快速整合應用。圖 16 為取自 Scape Technologies 公開展示影片<sup>(7)</sup> 的圖片，此 RBP 單元將要進行冷鍛的散亂堆放工件由推車中取出，放置於壓力機中進行壓鍛處理。此 RBP 系統目前已於丹麥鍛造業者產線中實際上線運作。

## 9. Visio Nerf Eyeberg RBP

Visio Nerf 為法國一家 20 年視覺導引機器人系統整合商，應用業務包含汽車工業、金屬加工業、塑膠加工業、農牧產業、食品業、於 2007 完成開發第一套 RBP 機器人單元。圖 17 是 Vision Nerf RBP 機器人單元 2011 公開展示影片<sup>(8)</sup> 中的圖片，圖 18 為此 RBP 機器人單元採用的線掃雷射做為深度視覺感測器；2013 Vision Nerf 針對此 RBP 系統提升了掃描速度並加入了線上視覺檢測的功能。

## 四、結論

以上僅介紹國際上較為知名的 RBP 技術，國際上學研界也尚有不少相關的研發在進行中，因族繁不及備載。綜合而言，RBP 技術因為近年 3D 視覺感測與 3D 視覺運算能力的大幅提升，而取得了突破性的進展。如 3D 深度視覺感測技術提供了高精度高解析度的深度影像，突破以往受限於感測器表現不足與成本過高的限制；而運算處理器的對於 3D 視覺／圖學運算效能的倍速提升，加上日益完善的 3D 視覺相關軟體資源，使得工件的 3D 姿態估測方法得以快速運算。技術發展至今，特定物件的 RBP 技術已漸漸開始成熟，而產業環境也開始強化對 RBP 技術的需求。然而目前 RBP 尚有技術問題值得進一步研究與突破：一為如何因應快速換線需求，達到快速或自動化適應不同種類的工件的 RBP，目前解決方法仍然仰賴技術人員手動進行 RBP 系統調整；二為如何針對具有形狀變異或會變形的工件進行 RBP。此二技術問題目前為國際學研界探討研究的重點，突破後將擴展 RBP 可應的工件與顯著提升應用彈性。



圖 16.  
Scape Technologies 應用於金屬  
鍛造的 RBP 機器人系統。

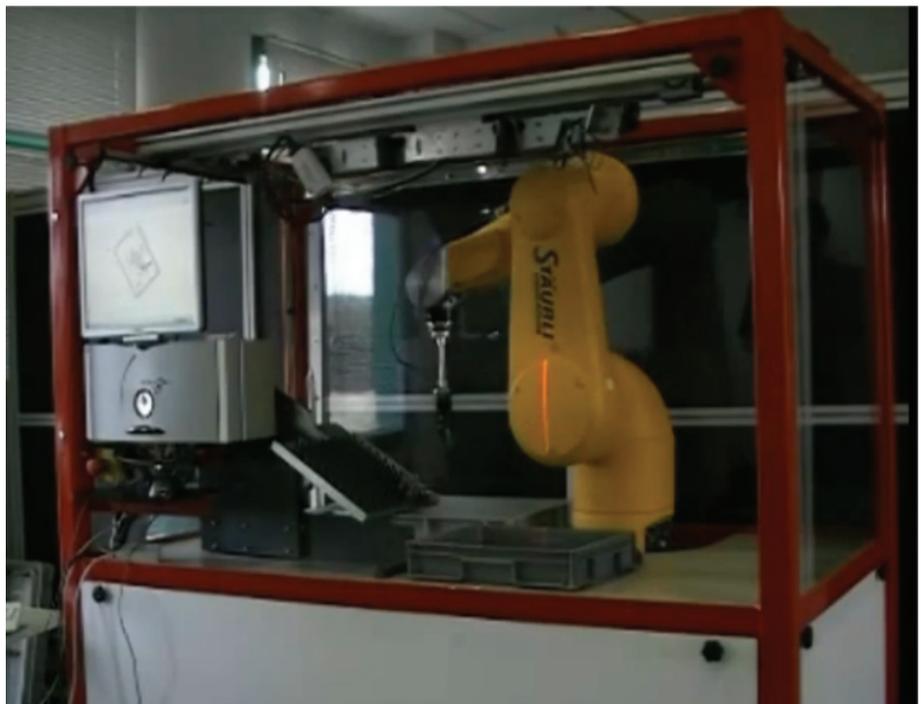


圖 17.  
Vision Nerf 的 RBP 機器人單元。



圖 18.  
Visio Nerf 以雷射線掃進行  
深度視覺感測。

## 誌謝

感謝工業技術研究院機械與系統研究所 (計畫編號 E301AR3600) 的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

## 參考文獻

1. 中國工資上漲 衝擊各國廠商 [http://anntw.com/awakening/news\\_center/show.php?itemid=38710](http://anntw.com/awakening/news_center/show.php?itemid=38710)
2. 48 萬外勞大軍救台灣 <http://www.new7.com.tw/SNewsView.aspx?Key=48%E8%90%AC&i=TXT20130424135115B0X&p=>
3. Robot Brings Job Back to US <http://www.kukaconnect.com/reshoring-robots-bring-jobs-us/>
4. Berthold K. P. Horn, Robot Vision, The MIT Press, (1986)
5. evf Random Bin Picking <http://www.youtube.com/watch?v=09LzufOnbX0>
6. 郭台銘機器人大夢, 日本人先做到了 <http://www.businessweekly.com.tw/KBlogArticle.aspx?id=3693>
7. World's first off the shelf Bin-Picker for Heavy Parts - with Automated handling <http://www.youtube.com/watch?v=nhl2wJHSTw>
8. Visio Nerf Eyebug 3D Bin Picking [http://www.youtube.com/watch?v=QG-AFTEM\\_-k](http://www.youtube.com/watch?v=QG-AFTEM_-k)



張彥中為交通大學電子博士，現擔任工研院機械所智慧機器人組機器人系統應用部經理。

Nelson Yen-Chung Chang received his master at National Chiao Tung University of Electronics Engineering. He is currently a manager of robotic system application department in ITRI Robotics.



林欣儀為中正大學電機碩士，目前為工研院機械所智慧機器人組機器人系統應用部副研究員。

Hsin-Yi Lin received her master in electrical engineering from National Chung Cheng University. She is currently an associate researcher at Mechanical and Systems Research Laboratories of ITRI.