

第五章

實驗與討論

本論文所發展出的遠端力覺系統能以搖桿操作另一端機械夾爪使之夾取多種物而且不產生破壞，除了夾取動作外，尚可做提起、鬆開物體的動作，完成整個遠端呈現系統中的力覺回饋部分。本章一開始先試著將物體模擬成一個虛擬彈簧，將彈簧力感回饋到搖桿上，利用彈簧的彈性讓使用者操作安全，測試遠端與近端合作夾取任務的成果，最後以我們提出的操控機制，利用力回饋搖桿操作機械夾爪去夾取金屬塊、橡膠球、乒乓球、燈泡、番茄及雞蛋等六種不同物體。

5.1 彈簧模擬實驗


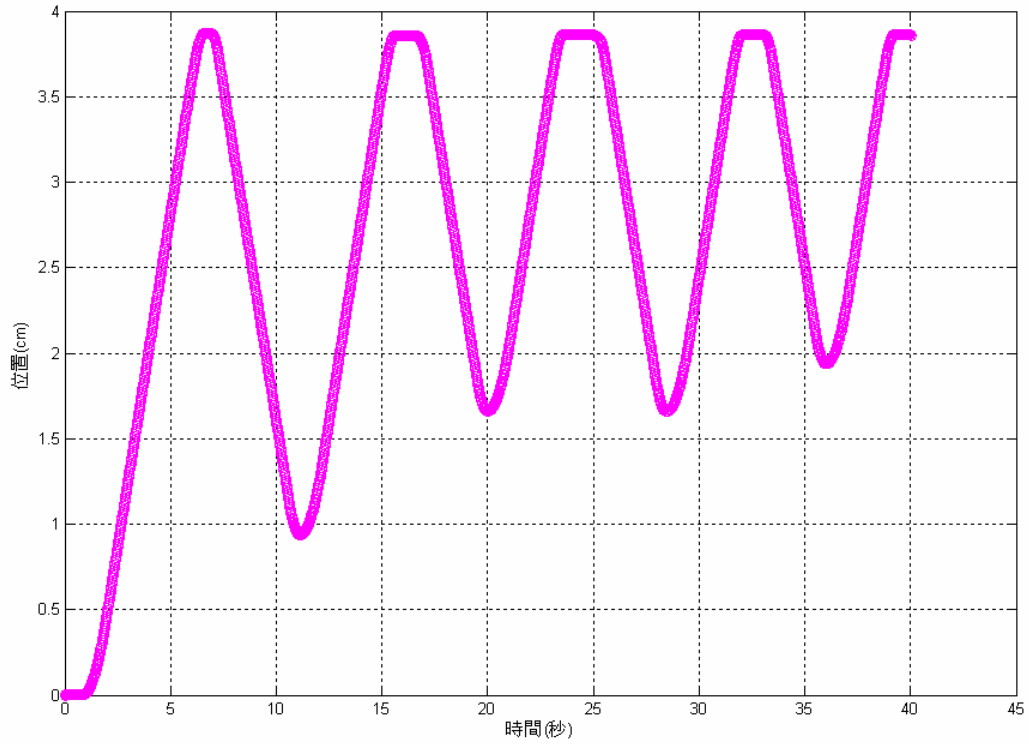
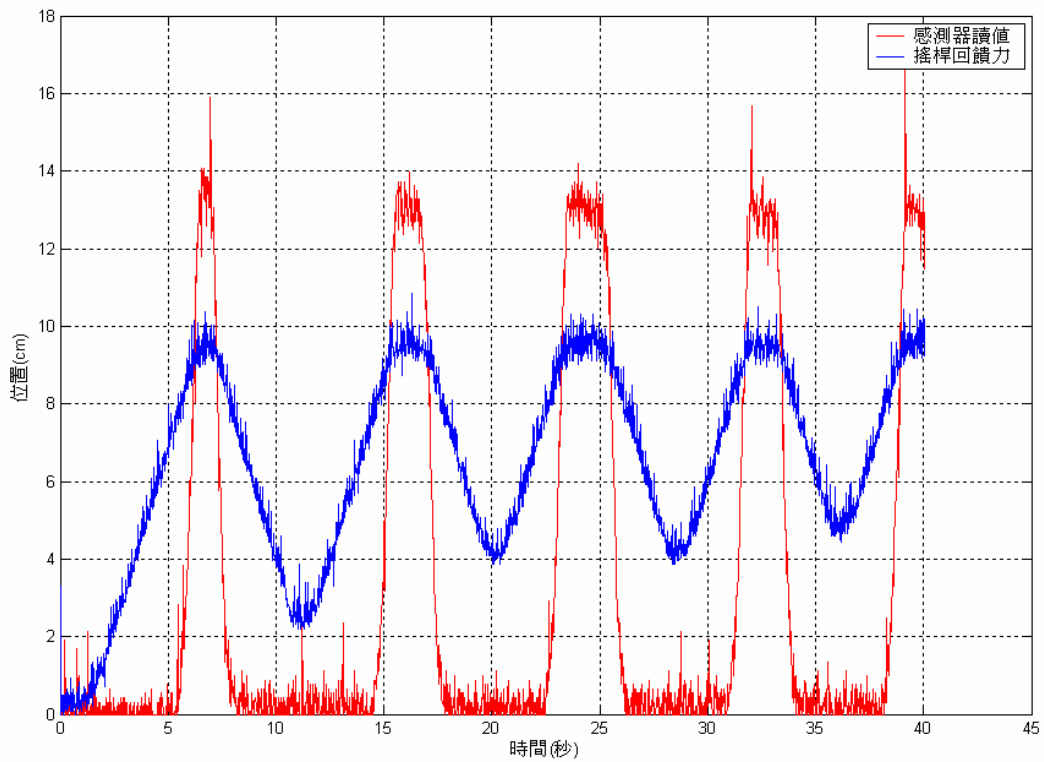


圖 5.1 為操作夾爪去夾取橡膠球的模擬受力及位置關係圖，使用者操作搖桿使夾爪對橡膠球做夾取、放開的連續重覆動作，在此將橡膠球模擬成彈性係數 K 為 2.5 牛頓/釐米的虛擬彈簧，圖 5.1(a) 紫色線為夾爪從完全張開逐漸向橡膠球接觸的位置指數，指標到達約 4 釐米處即夾爪已經走了 4 釐米後觸碰到橡膠球，此時感測器便量到夾爪的夾取力量值，即為圖 5.1(b) 紅色曲線，藍色曲線為使用者從搖桿機構上感受到的力量大小，可看出系統在夾爪開始做關閉動作且尚未觸碰到橡膠球時便產生力量回饋到搖桿系統，力量大小隨夾爪移動距離而愈來愈大，如同夾爪將空氣視為一個虛擬彈簧般，當夾爪開始移動即感受到虛擬彈簧的反作用力，而此彈性係數並非一定跟實際物體的彈性係數相同，因為使用者只是藉著感受虛擬彈簧的力回饋來得知夾爪與物體接觸的狀態，用來警告使用者夾爪即將與物體碰撞，並藉此將回饋力量適度地緩緩調升，一來可以達到保護作用，二來可讓使用者掌握到夾取力變化的感覺。



(a) 夾爪移動位置



(b) 搖桿與感測器力量響應

圖 5.1 將回饋力模擬成虛擬彈簧：(a)夾爪移動位置和

(b)搖桿與感測器力量響應

5.2 物件夾取實驗

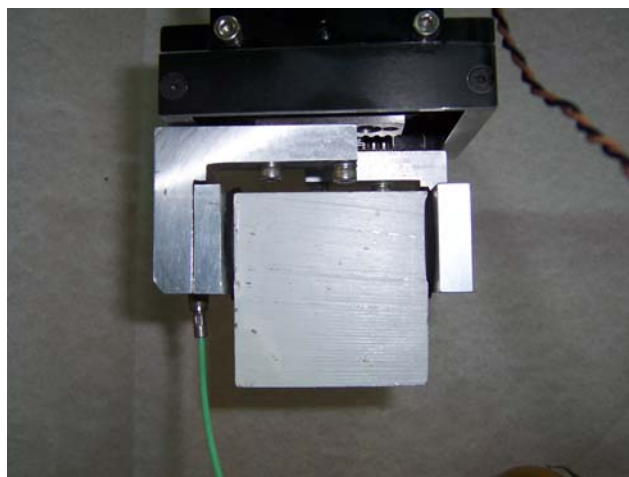
論文中根據我們所提出之硬體及軟體策略進行各種物體的夾取實驗，由於此力覺回饋系統發展的目標為家庭內客廳或廚房的機器人幫手，因此實驗的夾取對象均為家庭內常見的物品，某些物品需要做較精確的力量控制，某些則不需要擔心夾爪會破壞其外表，因此接下夾實驗為驗證發展出來的夾爪系統不需要事先量測物體重量換算成最適當夾取力量，便可對付各種不同物理性質的物體，包括夾取金屬塊、橡膠球、乒乓球、燈泡、番茄及雞蛋等六種不同性質的物體。

實驗方法係利用力回饋搖桿操控機械夾爪，令搖桿的逆時針轉動視為對夾爪下達關閉的指令，使用者可以夾爪行進過程中感覺到論文所呈現出的力感回饋訊號，當夾爪起步時使用者便感覺到順時針的力量將搖桿往回推，且隨著夾爪行進距離愈遠，搖桿的回饋力量就愈大，使用者藉由如此的力量變化得知夾爪即將與物體接觸，可以避免接觸瞬間突如其來的激烈力量改變，達到保護使用者的目的，當夾爪與物體接觸時，使搖桿的回饋力量稍微增加，營造出碰到虛擬牆的感覺，以區別接觸與不接觸之間的力感差別。

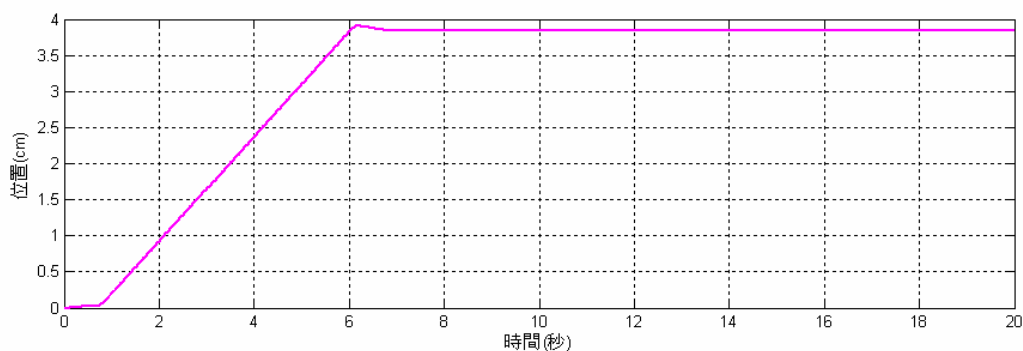
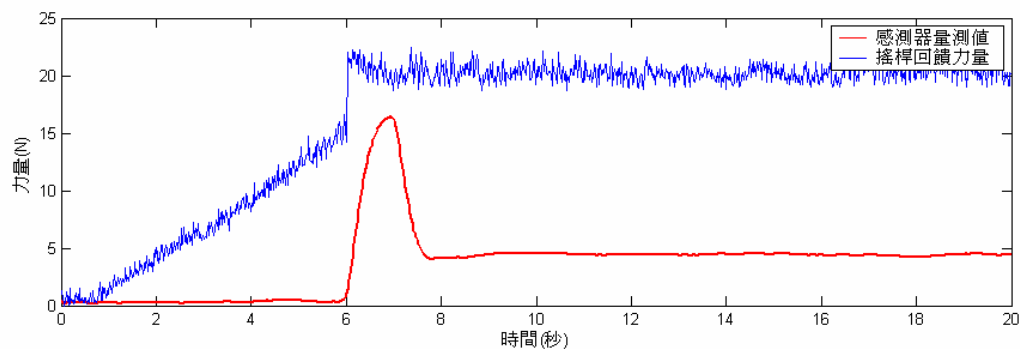
首先進行的實驗對象為金屬塊，如圖 5.2(a)，由於金屬塊為堅硬材質，故夾取時不需考慮到夾取力是否太大而造成物體損毀，若物體重量沒有超過 1 公斤，以所指定之驅動電壓不至於造成物體的滑落，則夾爪不必施加極大的力量便可做夾取及提起動作，金屬塊最適當的驅動電壓為 0.5 伏特到 1.0 伏特，實驗以 0.5 伏特的電壓驅動之。

圖 5.7 (b)中紫色曲線代表夾爪移動的距離，紅色線為感測器量得的夾取力，雖然紅色曲線顯示在夾取瞬間雖然造成很大的衝力，但此衝力不足以破壞金屬塊，藍色線代表夾取過程中搖桿的回饋力量，隨著夾爪的移動而會愈來愈大，如同將空氣視為彈簧般，為了讓使用者感受到未接觸與接觸狀態的差別，因此當碰

到金屬塊時搖桿回饋力量必須急速上升，如同夾爪碰到一個堅硬的虛擬牆面般，碰撞前的回饋力量約為 15 牛頓，碰撞後力量上升至 20 牛頓然後維持不變。圖 5.2(b)顯示 0 到 7 秒表示虛擬回饋力從 0 逐漸遞增到 15 牛頓，在 7 秒時夾爪與物體接觸，夾取力瞬間上升到 16 牛頓後保持在 5 牛頓的大小，此時使用者感受到力回饋上升至 20 牛頓，便知夾爪已與物體觸碰到。



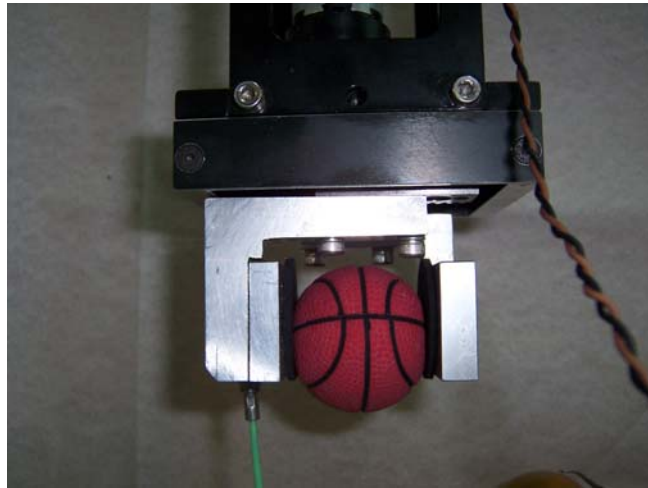
(a) 夾取實況照



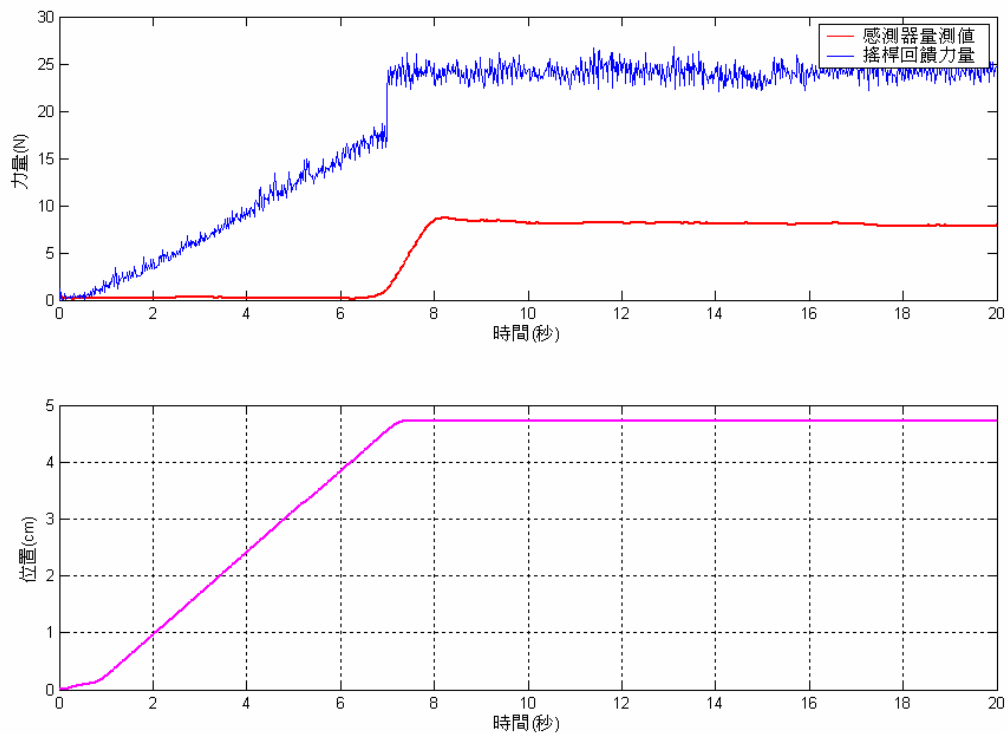
(b) 力量及位置響應圖

圖 5.2 夾取金屬塊：(a)夾取實況照和(b)力量及位置響應圖

接著夾取橡膠材質的玩具球，因為橡膠質地柔軟且彈性佳又輕盈，不必擔心夾取力過大而破壞外觀，或是夾取力過小導致力道不足而造成滑落，因此馬達驅動電壓給 0.5 伏特即可，由圖 5.3 可知最後夾取力約為 8 牛頓，回饋到搖桿的力量為 24 牛頓。



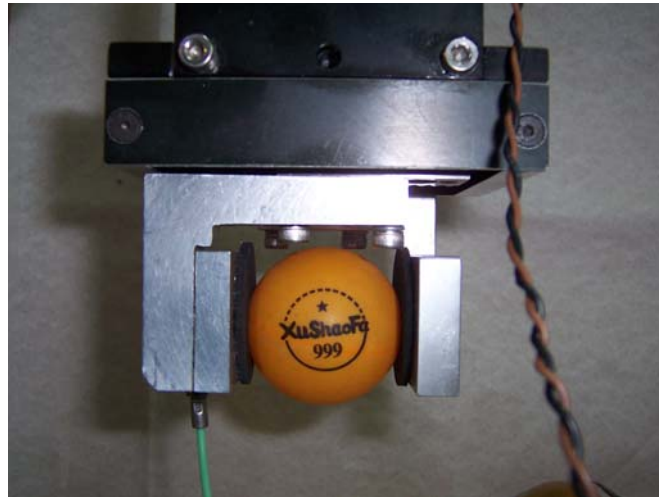
(a) 夾取實況照



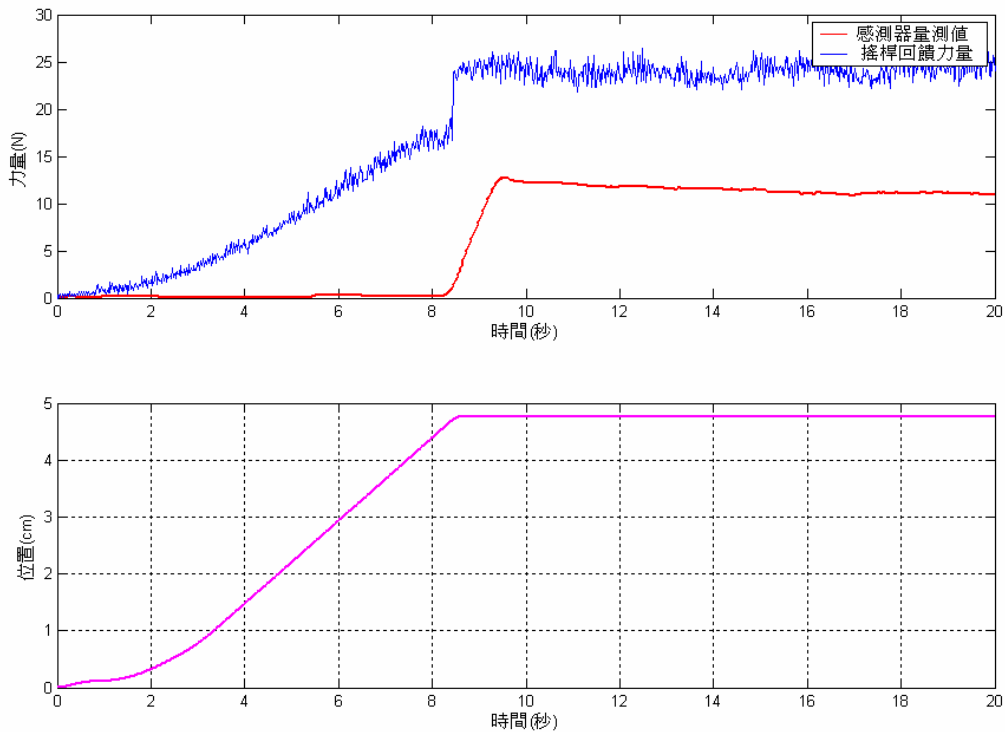
(b) 力量及位置響應圖

圖 5.3 夾取橡膠球：(a)夾取實況照和(b)力量及位置響應圖

圖 5.4 為夾取乒乓球實況，由於乒乓球為塑膠材質，整體上看來不具太大的形變能力，但其質地為內部空心的塑膠結構，故不能施加太大力量以避免球體外表凹陷，另外乒乓球重量輕盈所以只需很小力量便可提起，故夾爪驅動電壓為 0.3 伏特即可。



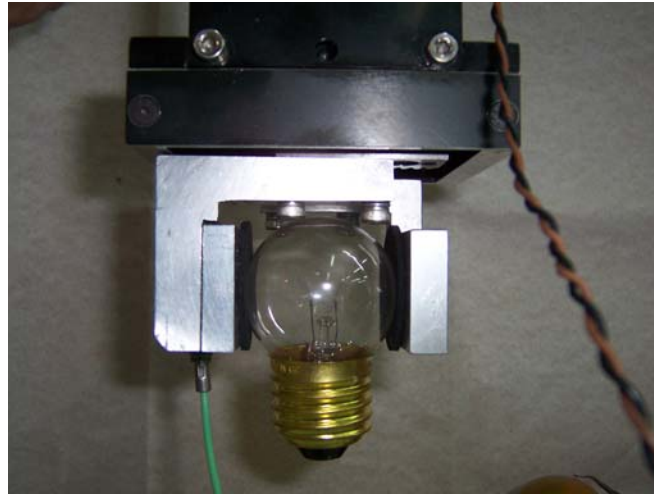
(a) 夾取實況照



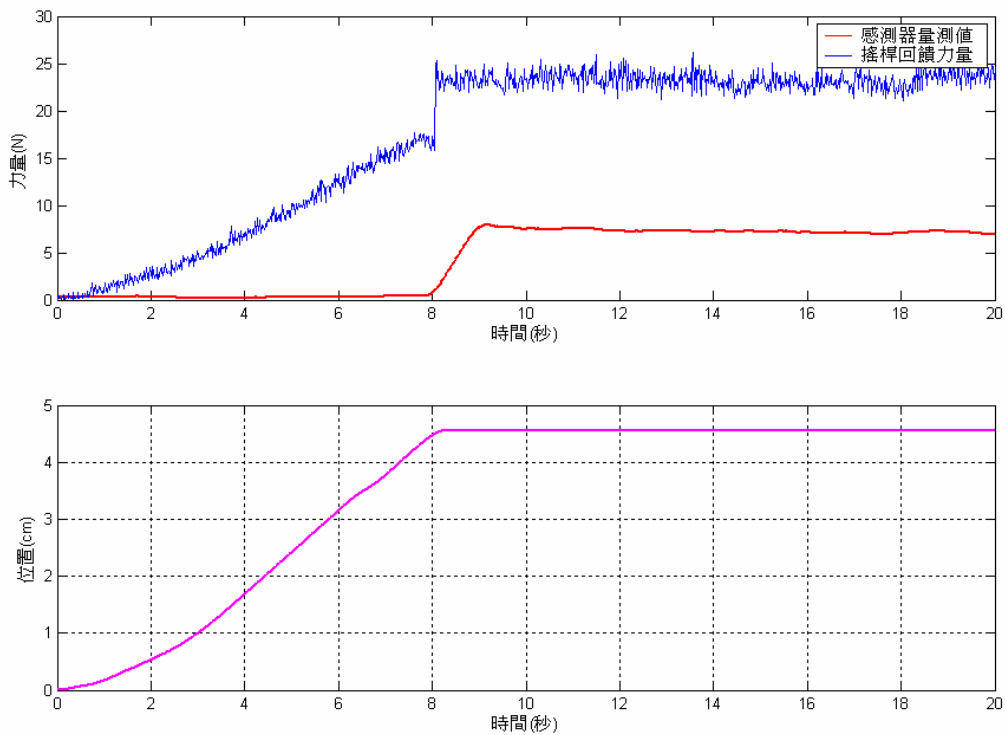
(b) 力量及位置響應圖

圖 5.4 夾取乒乓球：(a)夾取實況照和(b)力量及位置響應圖

圖 5.5 為夾取燈泡實驗，燈泡雖為空心玻璃材質，但玻璃質地較堅硬可承受力量比乒乓球還高，因此夾爪驅動電壓可調整範圍較廣，然而燈泡為脆性物體必須避免過大的衝力或敲擊，否則仍會使之破裝，燈泡重量輕盈因此實驗以 0.5 伏特的電壓來驅動夾爪便可。



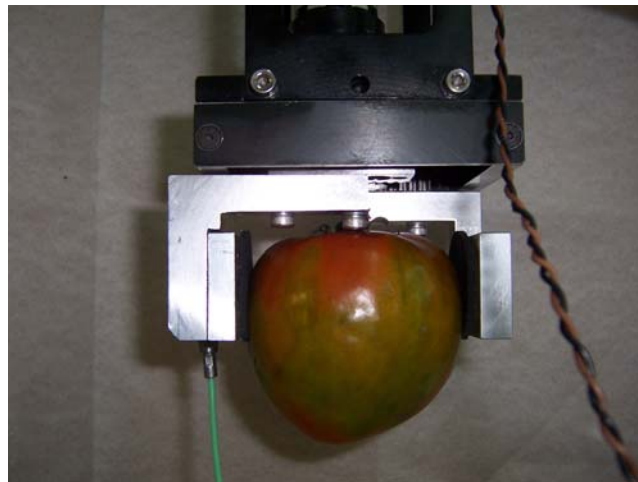
(a) 夾取實況照



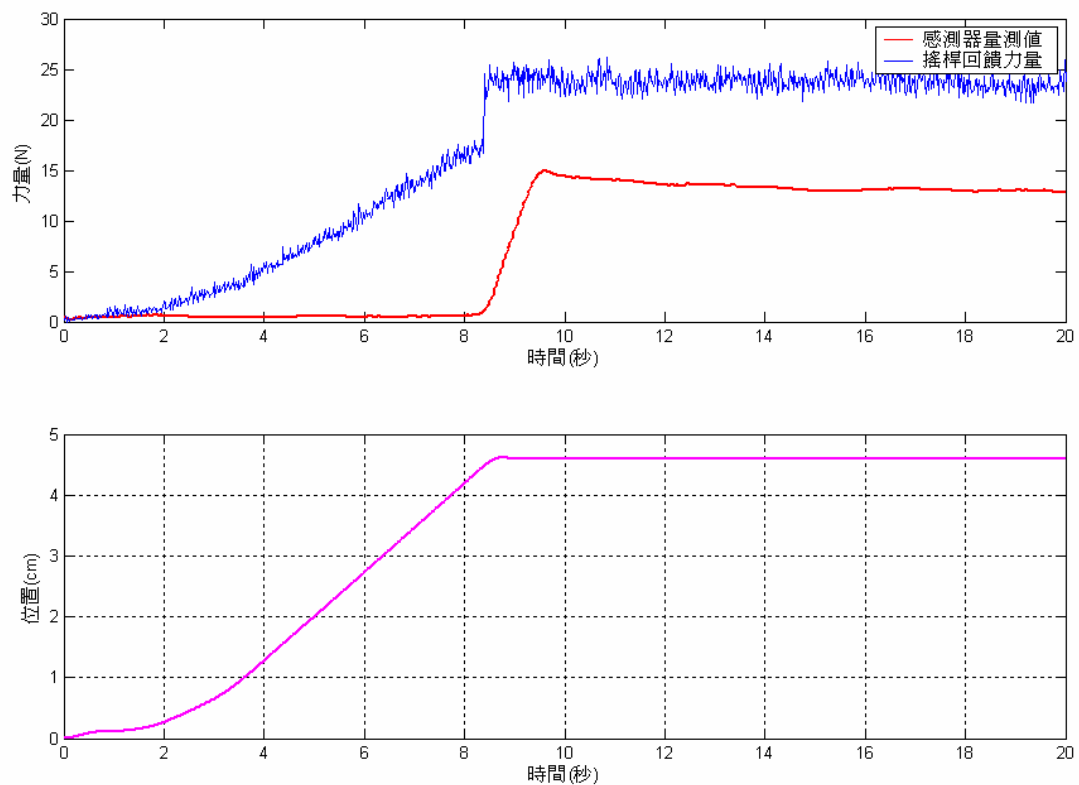
(b) 力量及位置響應圖

圖 5.5 夾取燈泡：(a)夾取實況照和(b)力量及位置響應圖

圖 5.6 為夾取番茄實況，太大的夾取力會使番茄外表受到破壞，太小的夾取力容易使番茄從夾爪滑落，因此必須先經過實驗方式找出番茄適當的夾取力量範圍，再以最適當的電壓驅動夾爪系統，在此以 0.25 伏特的電壓驅動夾爪，由圖可知其夾取力量質約為 14 牛頓。



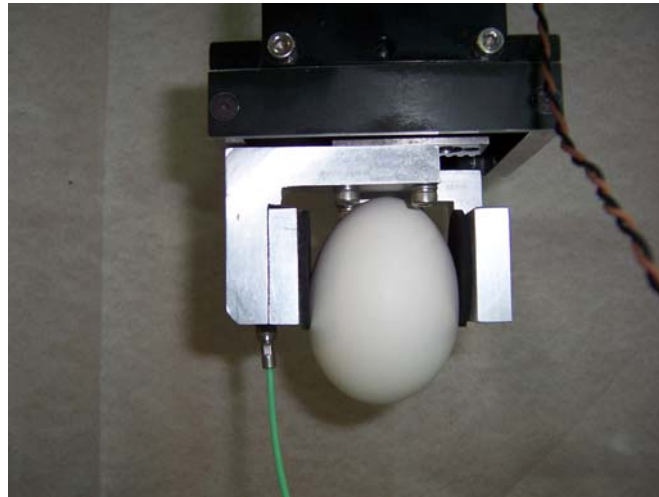
(a) 夾取實況照



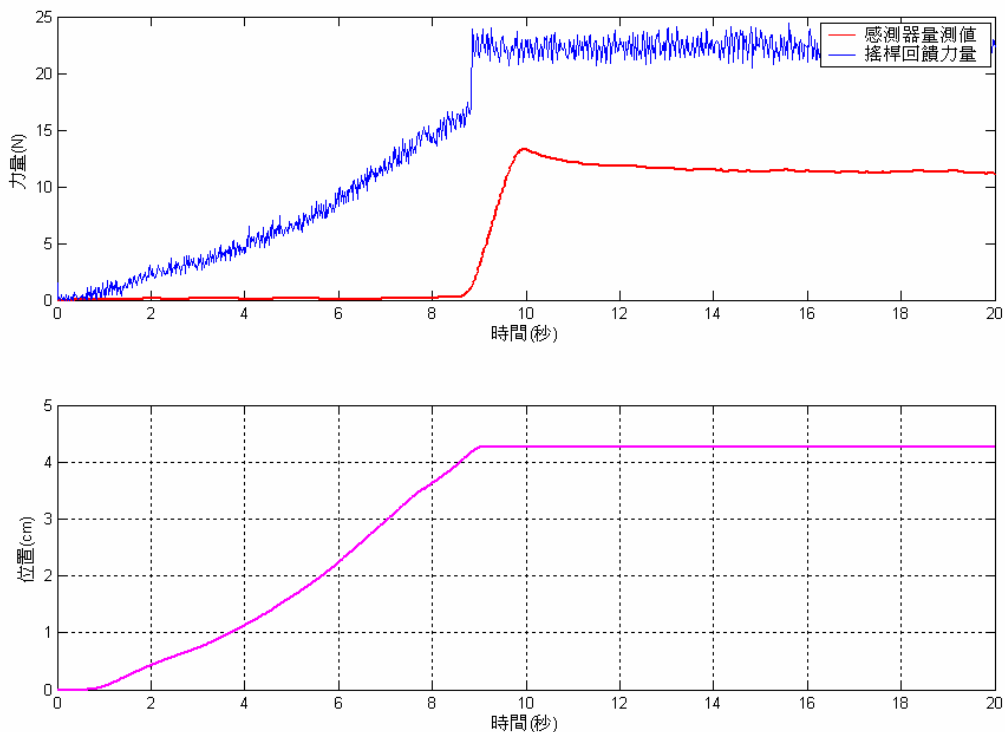
(b) 力量及位置響應圖

圖 5.6 夾取番茄：(a)夾取實況照和(b)力量及位置響應圖

圖 5.7 為夾取雞蛋實況，雞蛋外殼非常脆弱，因此施力不可過大，同時雞蛋也擁有一定程度的重量，因此施力不可過小，經由實驗數據得知雞蛋的最大呈受力至少在 70 牛頓，但實驗僅以最恰當的力量值去夾取雞蛋，故以 0.2 伏特的電壓去驅動夾爪，由圖可知普通雞蛋只需約 10 牛頓的力量便可將之提起。



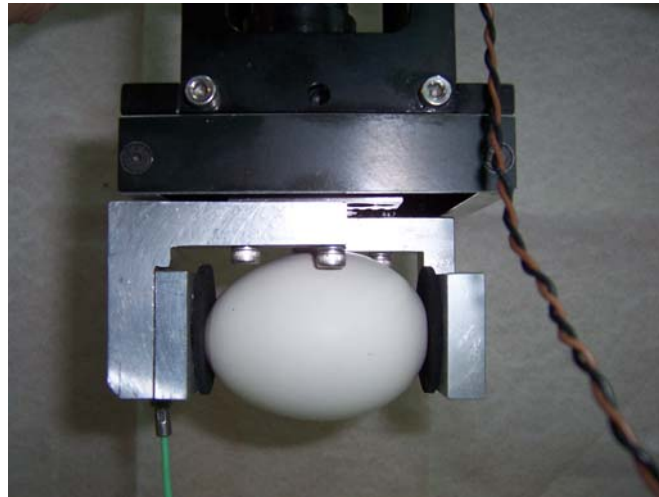
(a) 夾取實況照



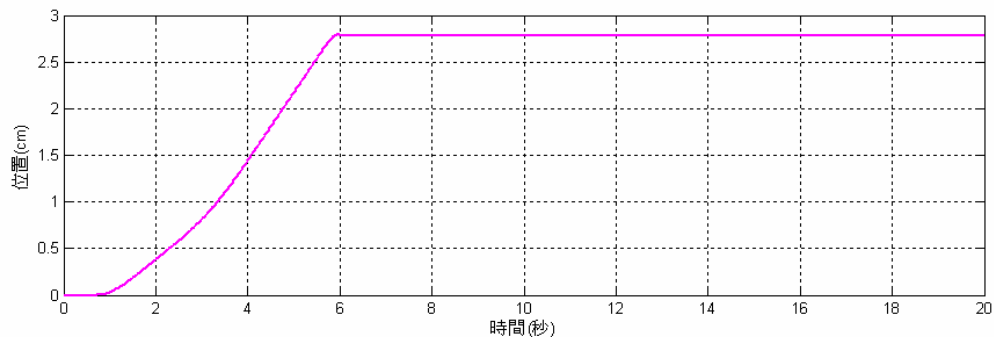
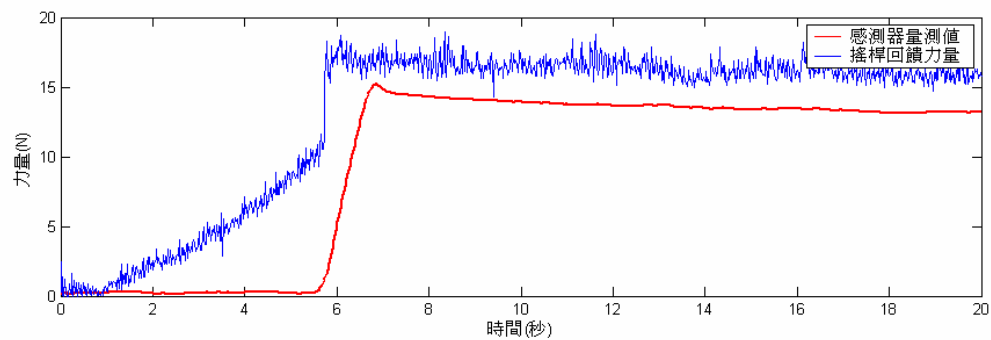
(b) 力量及位置響應圖

圖 5.7 夾取直立之雞蛋：(a)夾取實況照和(b)力量及位置響應圖

圖 5.8 為將雞蛋橫躺以後再做一次夾取實驗，用以證明夾爪不需知道物體的大小或擺設方向亦可順利將物體夾起。雞蛋直擺與橫擺的差別在於回饋力的表現結果，前面圖 5.7(b)中紅線的遞增範圍從 0 到 9 秒，而圖 5.8(b)中為 0 到 6 秒，表示是在同一個虛擬彈簧下呈現不同大小的夾取物。



(a) 夾取實況照



(b) 力量及位置響應圖

圖 5.8 夾取橫躺之雞蛋：(a)夾取實況照和(b)力量及位置響應圖

經由以上實驗可歸納出幾點，論文所提出的力覺回饋夾取系統在實驗前不須知道物體的重量、形狀、大小、軟硬等，因為我們所用來驅動夾爪的方式為力量控制，夾爪的驅動電壓與夾爪施力成正比，我們將所面臨的物體大致上分為三類，此三類分別有不同的物理性質，針對這些性質可給予適當的驅動電壓去指定其施力大小，由於我們已對各種物體的適當電壓以事先指定，當欲夾取某物體時，則只需指定到該物體的最適當夾取力量值便可，而力迴饋搖桿的作用除了對夾爪下達關閉及開啓的作用外，尚可透過可程式化的力回饋方式將遠端力量呈現出來，力量的呈現方式具有可塑性，可依使用者的想要的方式加以修改。

機械夾爪要能精確地夾住物體且不造成物體破壞，所需考量因素很多，通常包括物體本身材質、形狀、大小、重量、表面粗糙度等，而我們所提之方法是針對物體的材質而討論，因此實驗物體的形狀為方體或球體等相對稱之形狀，其大小在夾爪可夾取範圍內，重量通常不超過一兩公斤為主，對於不同材質的物體指定不同的夾取力量，以搖桿對夾爪下達命令再經由可程式化的操控機制將力量呈現給使用者，我們可將如此的力覺回饋系統應用在遠端虛擬實境操控系統中，透過虛擬實境模擬機器人及環境間的互動關係，同時讓使用者有視覺及力覺回饋的感受，使整個遠端呈現技術更加完善。