

第五章 實驗結果

為了驗證本論文所提出的人臉追蹤系統，及機器人之頭部追蹤系統之效能，我們將藉由以下幾個實驗驗證人臉追蹤系統。總共有以下幾個實驗：

1. 單獨使用機器人之頭部追蹤系統，並且固定頭部不動而只由影像畫面進行人臉的追蹤，此實驗包括單純使用固定膚色來追蹤人臉以及本論文提出之適應性膚色追蹤。
2. 只使用頭部追蹤系統並經由實驗室發展之頭部運動控制器，以控制機器人頭部進行上下及左右運動，藉由頭部的移動將人臉固定在影像中心位置，此實驗包含光源不變動及光源變化下人臉追蹤的結果。以下為實驗之內容：
 - a) 燈光在人臉的左側而人左右移動，由機器人頭部進行追蹤。
 - b) 燈光在人臉的右側而人左右移動，由機器人頭部進行追蹤。
 - c) 燈光在人臉的前方一直閃爍，並且由機器人頭部進行追蹤。
 - d) 進行人臉追蹤時將室內日光燈三分之二盞先關閉然後開啟。
 - e) 在進行人臉追蹤時，機器人頭部仰角抬高並且人臉後方有日光燈。

5.1 未使用適應性膚色之人臉追蹤實驗結果

在本實驗中，我們利用固定不變的膚色色彩分佈閾值以進行膚色分割，並且固定機器人之頭部追蹤系統，由影像畫面進行人臉的追蹤，圖 5-1 為實驗的結果，其時間順序為為先左再右，先上再下。白色框選區域表示為人臉的所在及臉部大小，也就表示人臉追蹤成功。在此實驗中可以看得出來，在開始之初，因為光源充足而使人臉膚色分佈較廣且在 Cr 值會偏高，若利用此時的色彩分佈閾值來進行色彩分割的話，容易與背景分離出來，所以人臉偵測率相對上而言會較高。隨著人臉的移動，愈往影像邊緣移動時，人臉明顯地變得較暗，若使用原來的膚色色彩分佈的話，則有可能在影像邊緣處難以偵測到膚色像素，而造成人臉追蹤失敗。



圖 5-1 固定膚色分佈閾值之人臉追蹤結果

為了解決光源對人臉膚色分佈的影響，而造成人臉追蹤失敗，在下一節我們將利用本論文提出之人臉追蹤方法來追蹤人臉，以驗證人臉追蹤系統是否能在光源的變化之下，能對人臉進行持續性的追蹤。

5.2 使用適應性膚色之人臉追蹤實驗結果

為了克服光源的影響，於是我們利用第二章提出之適應性膚色搜尋法進行人臉追蹤，我們的測試環境與圖 5-1 是相同的，主要目的是要跟之前用固定膚色追蹤人臉實驗做一個比較。圖 5-2 為實驗的結果。由實驗的結果得知，即使人臉位於影像平面邊緣的地方，人臉的區域依然有被框選出來，並不會因為膚色變暗而追蹤失敗。經過初步的驗證，即使人臉膚色受到光源的影響，我們可以利用適應性膚色搜尋法來達到穩定地人臉追蹤。為了證明利用適應性膚色搜尋法也可適用於一般環境光源的變化，我們將再進行以下幾個實驗，以驗明其可行性。

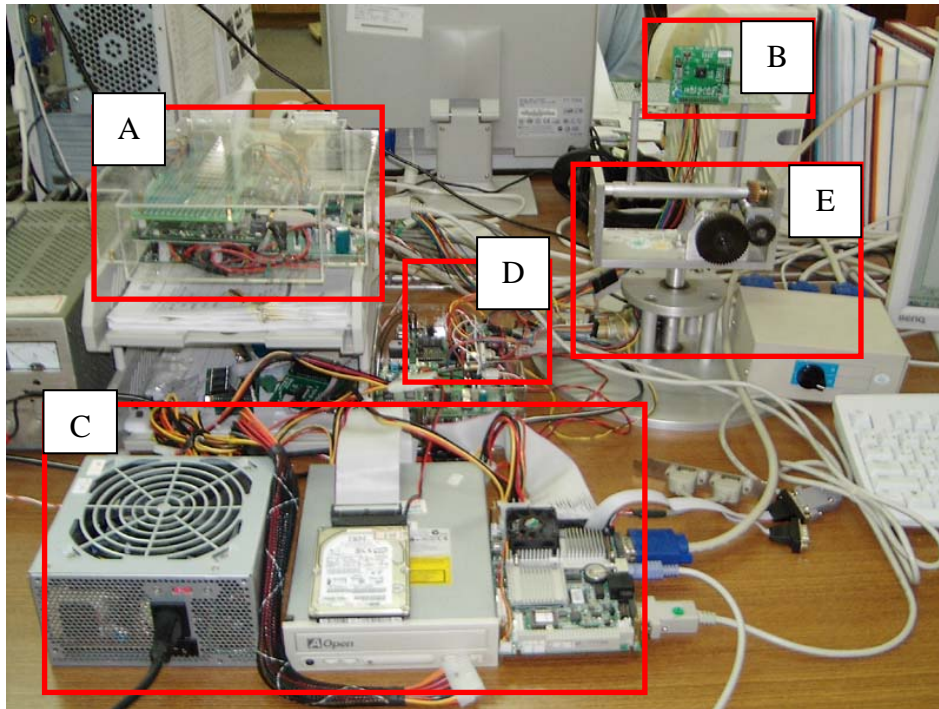


圖 5-2 適應性膚色搜尋法進行人臉追蹤之結果

以上都是在固定機器人頭部的情況下所進行的實驗，為了測試即使在人臉移動時，機器人頭部也可以穩定地進行人臉追蹤，接下來我們將利用機器人頭部垂直及水平移動以完成人臉持續的追蹤。如圖 5-3 所示，我們將 CMOS 影像感測器架設在頭部移動平台上，當嵌入式影像系統經由適應性膚色搜尋法得到影像平面的人臉位置之後，此影像系統會將人臉的位置傳給工業電腦，然後工業電腦即傳送頭部移動控制命令到馬達控制器，以控制機器人頭部垂直及水平移動馬達以達到人臉追蹤。

圖 5-4 為另一個實驗的結果。在實驗的過程當中，人臉是由左下角移動到右上角。由實驗的結果可以觀察到人臉追蹤系統的確有發揮其效果。特別注意中間一排影像的結果，按照常理來說，人臉膚色分佈應該比較接近人臉右上方紙盒的色彩分佈，若使用固定之膚色色彩分佈閾值以進行人臉追蹤的話，則有可能發生誤判的結果，而導致人臉追蹤失敗。

為了測試人臉追蹤系統在光源影響之下是否具有強健性，我們做了以下幾個實驗：



A：嵌入式影像系統

B：CMOS 影像感測器

C：工業電腦

D：頭部馬達控制器

E：頭部移動平台

圖 5-3 機器人頭部追蹤系統



圖 5-4 機器人頭部左右及上下移動之追蹤結果

a) 燈光在人臉左側之人臉追蹤實驗

圖 5-5 為左側光源之人臉追蹤流程圖，圖 5-6 為實驗之結果。圖 5-6 第二排時，左側光源開啟且人臉向光源靠近。在圖 5-6 第三排時，左側光源突然關閉且人持續在移動。在圖 5-6 第四排時，左側光源突然開啟。由實驗來看，人臉追蹤系統的確有發揮其功效。

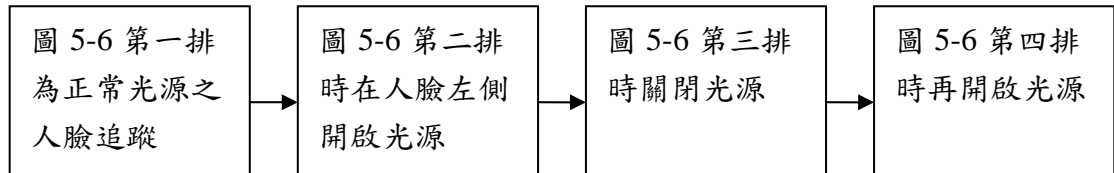


圖 5-5 左側光源之人臉追蹤流程圖



圖 5-6 光源在人臉左側之追蹤結果

b) 燈光在人臉右側之人臉追蹤實驗

我們將光源放置於人臉的右側再次進行人臉追蹤實驗。圖 5-7 為右側光源之人臉追蹤流程圖，圖 5-8 為實驗結果。在圖 5-8 第二排時，右側光源開啟且人臉向光源靠近及遠離。在圖 5-8 第三排時，左側光源突然關閉。在圖 5-8 第四排時，左側光源又突然開啟。由實驗來看，無論是光源在人臉的左側或右側，人臉追蹤系統確實有發揮作用。

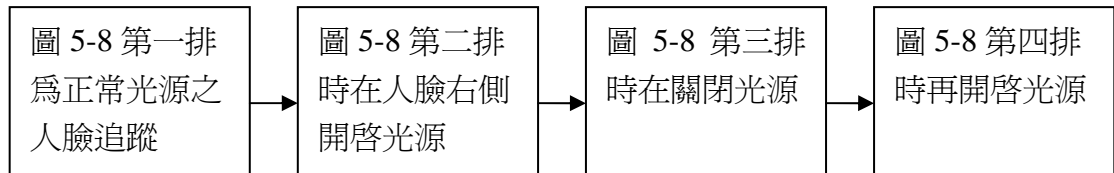


圖 5-7 右側光源之人臉追蹤流程圖



圖 5-8 光源在人臉右側之追蹤結果

c) 燈光在人臉前方並且閃爍以進行人臉追蹤實驗。

在此人臉追蹤實驗中，我們將光源放置於人臉的前方，並且在人臉移動的過程當中光源會一直閃爍，用意在於測試人臉追蹤系統對於突然光源的變化，是否依然可以追蹤人臉。圖 5-9 為光源閃爍之人臉追蹤流程圖，圖 5-10 為實驗結果。圖 5-10 第一排光源的變化不是很驟烈。在圖 5-10 第二、三與四排時，前方光源開始快速地關閉及開啟。由圖 5-10 的結果可以得知，即使光源快速的變化之下機器人頭部依然有持續地進行追蹤

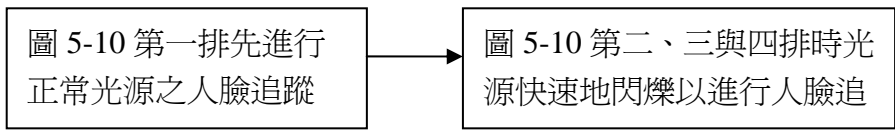


圖 5-9 光源閃爍之人臉追蹤流程圖



圖 5-10 光源在人臉前方閃爍之追蹤結果

d) 進行人臉追蹤時，將室內日光燈三分之二盞先關閉然後開啟

為了測試此人臉追蹤系統對於瞬間光源的變化的強健性如何，接下來我們進行將室內日光燈突然關閉及開啟的實驗。圖 5-11 為實驗流程圖，圖 5-12 為實驗結果。在圖 5-7 第二排時將室內三分之二的日光燈瞬間關閉，在圖 5-12 第三排時日光燈瞬間全部開啟。由實驗結果可以看得出來，機器人頭部有持續地在追蹤人臉。

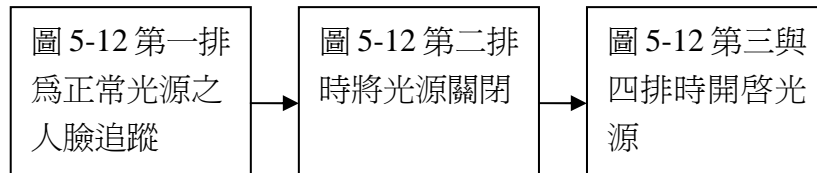


圖 5-11 室內光源開啟及關閉之人臉追蹤流程圖



圖 5-12 室內光源開啟及關閉之人臉追蹤



圖 5-13 光源在人臉後方之追蹤結果

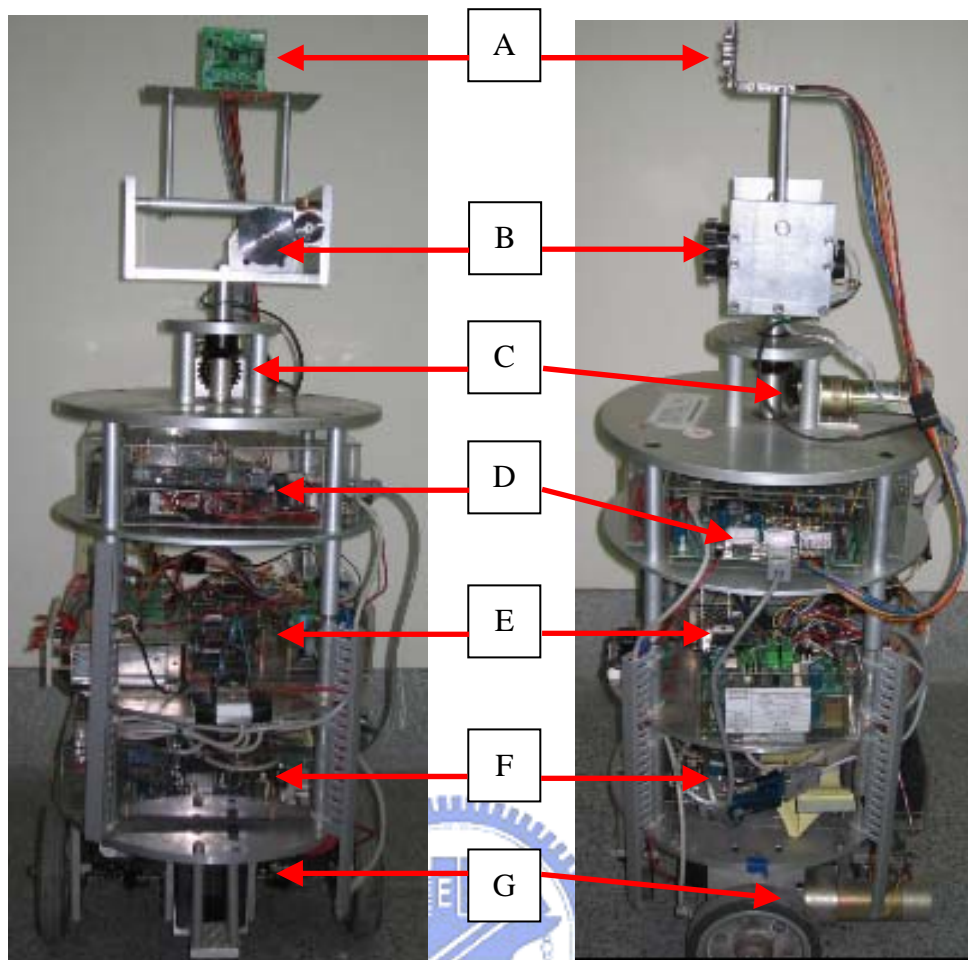
e) 在進行人臉追蹤時，機器人頭部仰角抬高並且人臉後方有日光燈。

為了測試此人臉追蹤系統對於人臉背光的強健性如何，接下來我們將進行人臉追蹤，並且在追蹤的過程當中，日光燈會出現在人臉的後面。圖 5-13 為實驗結果。由圖可以看得出來，即使人臉後方有日光燈的影響，但是機器人的頭部依然可以持續性地追蹤人臉，由此可知，人臉追蹤系統對於人臉背光時，依然可以發揮追蹤的效果。

根據以上各個實驗的結果，證明本論文所提出之適應性膚色搜尋法，在解決人臉追蹤時光源所產生的問題，例如人臉受到光源照射或者背光，的確可以發揮其穩定追蹤人臉的效果。

5.3 家用機器人與人互動實驗結果

根據前面實驗的結果，已經證明利用適應性膚色搜尋法，確實可以在光源的影響之下穩定地追蹤人臉，接下來我們將此人臉追蹤系統整合到實驗室發展之家用機器人，並且使其與人進行互動。圖 5-14 為家用機器人之外觀，我們已經將頭部移動平台架設於機器人本體上，藉由嵌入式影像平台將影像中人臉的位置傳送到工業電腦，由工業電腦分別控制頭部及腳部馬達，以達到人與機器人互動。



- A：CMOS 影像感測器 B：頭部上下移動馬達 C：頭部左右移動馬達
 D：嵌入式影像平台 E：電力系統及頭部、腳部 F：工業電腦
 馬達控制器
 G：腳部移動馬達

圖 5-14 家用機器人之外觀及其硬體設備

圖 5-15 主要是在實現第二章圖 2-27 之機器人行為決策。圖 5-15(a)、(b)、(c)與(d)在測試機器人頭部與本體為同時修正，以達到頭部與本體可同時朝向人員，此設計目的在使家用機器人可快速地反應人員的移動，若先進行頭部追蹤而等到本體與頭部超過某一角度才開始修正本體的話，則人員須等待機器人本體修正完，機器人才進行機器人與人員之間距離的判斷，如此會使機器人在判斷與人員之距離的反應過於遲緩。

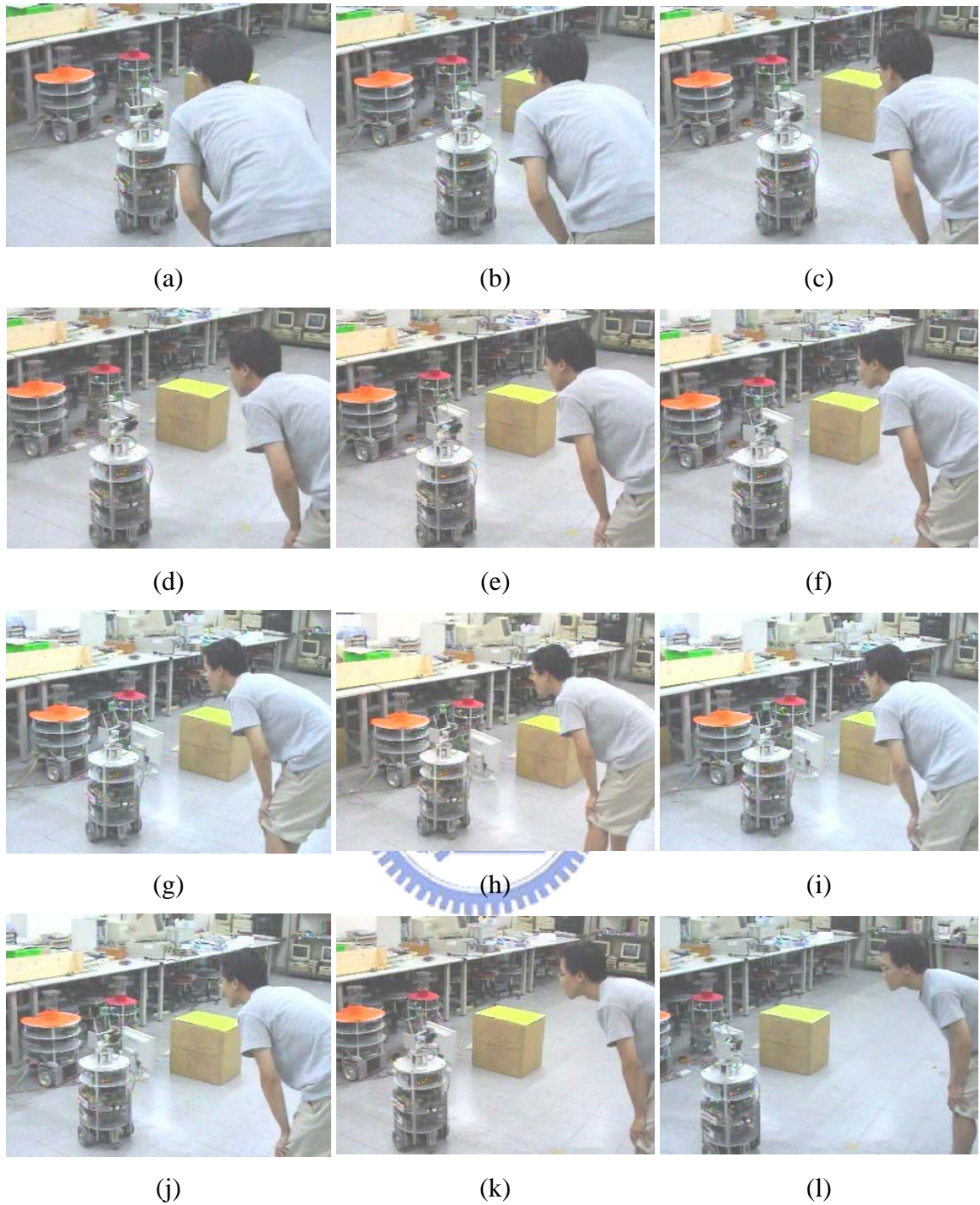


圖 5-15 家用機器人與人之互動

圖 5-15(e)、(f)、(g)與(h)在測試機器人與人員之間是否保持一定的安全距離，由圖 5-15(d)及(e)看得出來，由於機器人之行為模式是根據本論文提出之機器人行為決策，所以在任何時刻，機器人都會隨時修正以保持頭部及本體同時朝向人員，當人員向機器人靠近時，則機器人可以馬上做出退後的反應。圖 5-15(i)、(j)、(k)與(l)主要是在測試當人

員離開機器人時，機器人是否會往人員靠近。由實驗的結果來看，機器人確實有向人員靠近的趨勢，因為即使在機器人前進與後退時，機器人還是會根據頭部及本體的角度再進行修正，所以即使人員在靠近或者遠離機器人時，可也同時進行左右的移動。由實驗的結果來看，根據此行為決策可以提高家用機器人的反應速度，以達到靈敏及快速的人與機器人互動介面。

