

國立中央大學

資訊工程學系  
碩士論文

以熱影像為基礎之嬰兒互動監控系統  
A Thermal Image-based Interactive Baby  
Monitoring System

研究生：葉謀遠

指導教授：蘇木春 博士

中華民國 104 年 6 月

國立中央大學碩士班研究生

論文指導教授推薦書

資訊工程 學系/研究所 葉謀遠 研究生所提之  
論文以熱影像為基礎之嬰兒互動監控系統係由本人  
指導撰述，同意提付審查。

指導教授 葉 木 君 (簽章)

104 年 7 月 14 日

國立中央大學碩士班研究生  
論文口試委員審定書

資訊工程學系/研究所葉謀遠研究生所提之論文  
以熱影像為基礎之互動嬰兒監控系統經本委員會審  
議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人  
委員

林道南  
廖學宇  
葉謀遠  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

中華民國 一百零四 年 七 月 十四 日

# 以熱影像為基礎之嬰兒互動監控系統

## 中文摘要

許多研究指出，嬰兒有著我們未知的各種心理及學習能力，嬰幼兒時期心理發展的水平 and 質量對之後的兒童時期、青少年時期乃至一生都有著重要的影響。然而從醫學的角度觀察胎兒的發展，十八週大的胎兒即會有聽覺，使嬰幼兒在襁褓階段聽覺系統相較於其他感官系統來得成熟許多，所以音樂對於被視為嬰兒時期重要的學習教材。相關研究顯示，孩童越早接觸音樂，能幫助其提升語言、創新、身體協調性的發展，甚至能正面的幫助往後的人際關係。

另外，嬰幼兒安全亦是一項家長所關心的重要議題。因應此需求，市面上出現了許多嬰幼兒監控產品，但由於研發成本考量，大部分的產品只提供影像監控，缺少即時危險警訊。

基於以上原因，本論文提出了一個為嬰幼兒設計的音樂互動與監控系統。此系統以樹梅派(Raspberry Pi)為基礎開發而成，可分為兩個子系統：音樂互動子系統和監控子系統。音樂互動子系統的主要功能是希望讓嬰幼兒可以藉由肢體的動作來操控床邊音樂鈴的撥放，讓嬰幼兒可以藉此探索動作與音樂之間的關聯性。此功能的實現是藉由熱像儀來抓取人體頭手腳的部位資訊，搭配MIDI數位音樂，讓嬰幼兒的肢體動作可以改變音樂的播放方式 (如：聲音大小、速度快慢、音調高低、

樂器種類等)。至於監控子系統的主要功能就是要確保嬰幼兒獨自一人時有無危險性，系統會使用熱像儀來偵測嬰幼兒是否處於翻身狀態？是否持續發燒？搭配聲音感測器來判斷是否在哭？此外，會有影像傳輸之功能，即時將現況通知給家長，以防止意外發生。以上功能皆有實驗設計來測試整體效能，希望此系統能帶給家長與小孩一個安全又有趣的成長環境。

**關鍵字：**嬰幼兒、音樂學習、Raspberry Pi、熱像儀

# **A Thermal Image-based Interactive Baby Monitoring System**

## **ABSTRACT**

Research indicates that infants have different psychological and learning ability we haven't found. The level and quality of infant mental development has great impact from childhood to adolescence. However, 18 week old infant already has auditory sense from medical observation so auditory sense in babyhood is more mature than other sensory system. This is the reason why music is an important learning material in babyhood. Correlational research shows that the sooner children learn more about music, the better they can enhance the development of language, innovation, and physical coordination and even later interpersonal relationship.

Besides, infant security is also an important issue so there are many baby monitoring products on the market in order to fit the needs. Most baby monitoring products only provide surveillance which is lack of timely warning signs.

From the above reasons, this essay proposes an interactive musical interaction and surveillance system designed for baby and develops with the basement of Raspberry Pi, which is divided into two subsystems: interactive music subsystem and surveillance subsystem. The main function of interactive music subsystem is to let baby manipulate music by body movement. The implementation of this function is to use thermal imager to catch infant's movement of head, hands, and feet. Infant's body movement can change the way of playing music with the combination of MIDI digital music (For example, volume speed, tune, instruments). The main function

of surveillance subsystem is to ensure infant's safety when baby is alone. The system uses thermal imager to detect whether infants roll over and get a fever and infer baby's cries from the acoustic sensor. In addition, there is the function of video transmission and the system can report the situation to parents immediately to prevent the accident. The above functions have experiment to test the overall effectiveness and we hope we can bring parents and children a safe and interesting growing environment.

**Keywords :** baby, music learning, Raspberry Pi, thermal imager

## 誌謝

研究所兩年的時光匆匆即逝，感覺還沒什麼心理準備，就已經要面對畢業大關。在 CILAB 兩年的時間裡，首先要感謝蘇木春老師，不論是研究上何處環節的問題，老師都會親自指導研究方向，即便程度不好如我，老師一樣從未放棄過。這些諄諄教誨未來我也會一直放在心中。

感謝畢業的長毛學長、上屆學長姊阿呈、九哥、達哥、鉅榆，在碩一時的照顧，有任何研究上的問題學長姐們也很願意給予幫助，尤其阿呈還有九哥，除了課業上，在感情等等問題也主動關心與鼓勵。謝謝同屆的貴隆、阿弘、阿幹、晶婷還有阿巫，一起度過每個爆肝的夜晚。還有謝謝碩一非常 CARRY 的學弟們，不管問什麼都略知一二的家偉、閉著眼睛也能寫 APP 的上杰、實驗必須有你的昱成、還有屁話無限的日憲。

兩年時間說短不短，足夠塞滿許多喜怒哀樂，謝謝女友願意陪伴我度過這些日子。最後，最要感謝的是我的家人，給予我精神上的鼓勵與支持，讓我可以無後顧之憂完成學業。



# 目錄

中文摘要 .....	i
ABSTRACT.....	iii
誌謝 .....	v
目錄 .....	vi
圖目錄 .....	viii
表目錄 .....	x
第一章、緒論 .....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	2
1.3 論文架構 .....	3
第二章、相關研究 .....	4
2.1 嬰兒心智發展介紹 .....	4
2.2 嬰兒互動玩具與監控相關產品 .....	9
2.2.1 嬰兒監控產品 .....	9
2.2.2 嬰兒互動玩具 .....	11
2.3 數位樂器介面 .....	12
2.3.1 MIDI 名詞簡介 .....	13
2.3.2 MIDI 檔案資料格式與事件介紹 .....	14
2.4 嬰兒監控相關文獻 .....	17
第三章、系統硬體設計 .....	19
3.1 硬體開發板與感測器介紹 .....	19
3.1.1 單板機 - 樹莓派 .....	21
3.1.2 熱像儀 .....	23
3.1.3 聲音感測模組 .....	27

3.1.4 視訊與音響設定 .....	31
第四章、系統軟體設計 .....	32
4.1 熱影像處理部分 .....	33
4.1.1 閾值設定 .....	33
4.1.2 連通區域 .....	36
4.1.3 求各區域重心變化量 .....	37
4.2 其他部分 .....	38
4.2.1 哭聲偵測 .....	38
4.2.2 發燒偵測與翻身偵測 .....	38
4.2.3 影像傳輸與 APP .....	39
4.2.4 事件記錄 .....	41
4.2.5 MIDI 輸出 .....	41
4.3 熱像儀與網路攝影機的比較 .....	42
4.3.1 日夜間偵測結果比較 .....	43
第五章、實驗設計與結果 .....	44
5.1 實驗設計 .....	44
5.2 實驗結果 .....	46
5.2.1 頭手腳與背景的分類實驗結果 .....	46
5.2.2 翻身偵測實驗結果 .....	49
第六章、結論與未來展望 .....	51
6.1 結論 .....	51
6.2 未來展望 .....	51
參考文獻 .....	52

## 圖目錄

圖 2.1、胎兒 3 至 5 個月時，頭部大小比例圖(取自[5]) .....	5
圖 2.2、神經元細胞(取自[7]) .....	5
圖 2.3、iBaby Monitor M6(取自[11]) .....	9
圖 2.4、Withings Smart Baby Monitor(取自[12]) .....	10
圖 2.5、Angelcare Video, Movement and Sound Monitor(取自[13]) .....	10
圖 2.6、左圖為嬰兒玩具球，右圖為床邊音樂鈴 .....	12
圖 2.7、嬰兒動作示意圖(取自[28]) .....	18
圖 3.1、系統軟硬體平台架構圖 .....	19
圖 3.2、Raspberry Pi 2 Model B(取自[31]) .....	20
圖 3.3 系統硬體架構圖 .....	21
圖 3.4、Raspberry Pi 2 硬體外設 .....	23
圖 3.5、FLIR Lepton 鏡頭(取自[33]) .....	24
圖 3.6、Lepton 用的 Breakout board(取自[33]) .....	24
圖 3.7 左圖為以杯子裝 15°C 冷水，右圖為熱項圖 .....	26
圖 3.8 左圖為以杯子裝 70°C 冷水，右圖為熱像圖 .....	26
圖 3.9 線性圖形，橫軸為攝氏溫度正規化後數值，縱軸為 Lepton 正規化後數值 .....	27
圖 3.10、LEGO Sound Sensor(取自[35]) .....	28
圖 3.11、傳統聲音感測器，紅色圈圈處為比較器 .....	28
圖 3.12、RJ-12，NXT sensor 專用線頭(取自[36]) .....	28
圖 3.13、拉出 RJ-12 線 .....	29
圖 3.14、MCP3008 ADC IC(取自[40]) .....	30
圖 3.15、MCP3008 腳位(取自[39]) .....	30
圖 3.16、Raspbian 抓取 webcam .....	31
圖 3.17、Raspbian 抓取音效卡 .....	31

圖 4.1、系統軟體架構圖 .....	32
圖 4.2、熱影像處理流程 .....	33
圖 4.3、實際照嬰兒熱像圖 .....	34
圖 4.4、使用 bar 微調溫度閾值的熱像圖 .....	34
圖 4.5、以 6% 為閾值熱像圖一 .....	35
圖 4.6、以 6% 為閾值熱像圖二 .....	35
圖 4.7、P 與 Q 為四相鄰 .....	36
圖 4.8、四連通後，且取出前五大區域圖 .....	37
圖 4.9、各區域重心圖 .....	37
圖 4.10、Frame 分上下區域圖 .....	38
圖 4.11、Frame 分上下區域，人體呈現平躺圖 .....	39
圖 4.12、Frame 分上下區域，人體呈現翻身圖 .....	39
圖 4.13、監控 APP .....	40
圖 4.14、事件記錄 .....	41
圖 4.15、膚色偵測示意圖，左為原始圖像，右為膚色偵測結果 .....	42
圖 4.16、明亮環境下，膚色偵測結果如左圖，熱像偵測結果如右圖 .....	43
圖 4.17、無光的環境下，膚色偵測結果如左圖，熱像偵測結果如右圖 .....	43
圖 5.1、正確分類頭手腳與背景圖 1 .....	46
圖 5.2、正確分類頭手腳與背景圖 2 .....	46
圖 5.3、錯誤分類頭手腳與背景圖 .....	47

## 表目錄

表 3.1、嬰兒監控產品 .....	11
表 3.2、檔頭區塊的資料結構 .....	15
表 3.3、音軌區塊的資料結構 .....	15
表 3.4、頻道訊息格式 .....	16
表 3.5、頻道訊息的事件名稱 .....	16
表 4.1、Raspberry Pi 2 Model B 規格表 .....	22
表 4.2、FLIR Lepton 規格表 .....	25
表 4.3、0°C 至 80°C Lepton 數值表 .....	26
表 5.1、Mjpg-stream 參數表 .....	40
表 6.1、Relevant、Retrieved 概念 .....	44
表 6.2、系統檢測定義 .....	45
表 6.3、頭手腳與背景分類實驗結果 .....	47
表 6.4、頭手腳與背景分類結果統計 .....	49
表 6.5、翻身偵測實驗結果 .....	50
表 6.6、以系統檢測定義表所呈現實驗結果 .....	50

# 第一章、緒論

## 1.1 研究動機

音樂有著超越語言的力量，可以點燃各方面發育的火花，包括智能、社會、動作及語言能力。越來越多的研究發現，早期的音樂刺激對嬰兒有著正面的影響 [1]，甚至在他們尚未學會走路與說話之前 [2]。嬰兒聽音樂會讓心跳率變得更好，音樂節奏可以刺激運動，有助於嬰兒身體協調、控制動作的發展，並且能提高語言能力、空間智能，亦可使嬰兒心情放鬆，幫助睡眠 [3]。

基於以上原因，市面上有許多功能相像的發聲玩具，例如音樂搖籃床、床頭音樂鈴等等。在實際走訪坊間嬰兒用品店或是網路商店，我們可以觀察到這些音樂玩具，不外乎是由家長手動開啟的單向且單調的玩樂方式。這樣的遊戲方式缺少互動，嬰兒容易感到麻痺與無趣，難以激發出更多可能。

因此，我們提出一個針對一歲內嬰兒設計的音樂互動系統，提供嬰兒多元的互動方式，探索手腳變化與音樂之間的關係，增添遊戲趣味，擺脫傳統不能控制音樂的限制，希望能讓嬰兒獲得更多刺激，探索未知的可能。

另外，因應少子化與嬰兒安全議題的重視，近幾年自動化監控產品正

快速成長中，幫助照顧者即時獲得嬰兒的情況，減少意外事故發生，也可減輕照顧者的壓力。本研究不僅提供嬰兒的音樂互動功能，也加入監控功能，提供即時影像給 APP、嬰兒日夜間翻身偵測與嬰兒哭聲偵測，使系統更臻完善。

## 1.2 研究目的

本論文設計一個給周歲內嬰幼兒使用的音樂互動與監控系統，利用樹梅派(Raspberry Pi)、熱像儀(FLIR Lepton)與樂高聲音感測器(LEGO Sound Sensor)等等軟硬體的整合，實現一個有互動概念的遊戲與監控系統。本論文期許能實現下列目標：

1. 藉由遊戲的多元變化提升嬰兒對探索環境的熱情。
2. 減少家長照護嬰兒的壓力。

### 1.3 論文架構

本論文主要分為六章，其架構如下：

第一章緒論，敘述本論文的動機和目的。

第二章相關研究，簡介嬰兒的心智發展，以及市面上為嬰兒設計的互監控產品。

第三章系統硬體設計，介紹單板機與各種硬體元件的電路與實作方法，最後簡介實驗機構設計。

第四章系統軟體設計，詳述本論文中的軟體方法，與所用到的硬體中，軟體如何支援實作。

第五章實驗結果，介紹實驗方式並探討實驗結果。

第六章結論與未來展望，整理出本論文的總結與未來的發展。



## 第二章、相關研究

資訊時代的巨輪正急遽的轉動著，現代小孩雖然享有高度的物質文明生活，但卻必須面對過去時代所沒有的競爭壓力，在這樣的環境下，擁有較高能力與心智力量的人較容易在社會上立足。因此家長們無不求好心切，希望自己的小孩贏在起跑點上。隨著這些觀念的崛起，使得學齡前的教育格外備受重視。為此，嬰兒的照顧與教育，漸漸加入許多教育順練的成分。本章節簡介嬰兒心智發展、音樂對嬰兒可能的正面影響，接著介紹市面上針對嬰兒所設計的互動玩具與監控產品。最後，將介紹嬰兒監控的相關研究，探討目前智慧監控的發展。

### 2.1 嬰兒心智發展介紹

這一小節中將簡單介紹嬰兒如何利用外界的刺激來促進腦部發展，並簡述嬰兒發展情況。

對比於其他哺乳類動物，人類胎兒的發展相對緩慢。Portmann[4]曾提到剛出生的嬰兒就像子宮外的胚胎，孤弱且不成熟，無法獨立移動與進食。雖然胎兒的發展緩慢，大腦的發展卻是異常快速，圖 2.1 為胎兒 3 至 5 個月時腦部成長比例圖。



圖 2.1、胎兒 3 至 5 個月時，頭部大小比例圖(取自[5])

因此，胎兒大腦快速的發展暗示著等待刺激學習成長，滿足進入外面世界的需求。人類在出生時腦部即有一百四十億至一百六十億個腦細胞[6]，每個神經細胞已經各就各位準備發展。其中，神經與神經之間的鏈結，稱之為神經鏈，如圖 2.2，是一切構成嬰兒學習、思考和活動能力的基礎[7]，沒有這些神經鏈的聯結，嬰兒將變成無能力、無感覺的個體。

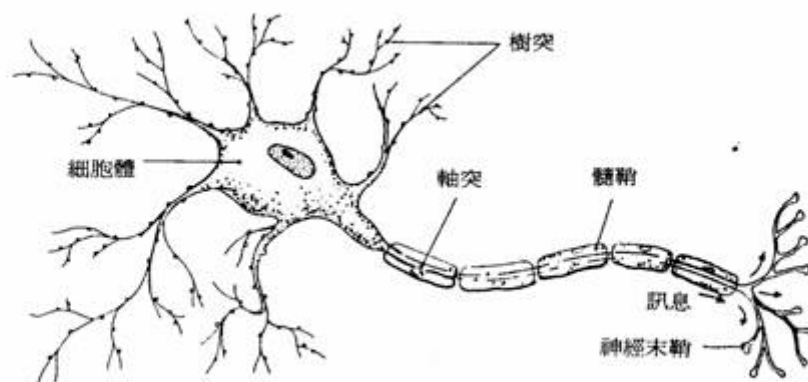


圖 2.2、神經元細胞(取自[7])

嬰兒透過視覺、聽覺、嗅覺、味覺與觸覺等各種感覺蒐集關於這個世界的情報，情報越多時，神經鏈網路的聯結就愈多[7]；若嬰兒反覆得到同樣刺激，這些網路就會越來越牢固。Huttenlocher[8]研究計算神經細胞所生出的神經鍵的平均數，出生時約為一萬左右，到一歲則增加到約十萬個。嬰兒的心智發展就是在神經元與神經元之間不斷聯結下，漸漸發展成熟。而促進神經元的聯結，就是不斷的給予刺激。例如：父母拿著一個發聲玩具給嬰兒，而嬰兒曾經玩過且感興趣的話，透過「聽覺」刺激，使他對聲音產生反應，把頭轉向聲音源；而透過「視覺」讓他看到玩具；「記憶力」使他看到這個玩具會感到興奮；「肌肉協調」讓嬰兒伸手抓取移動中的玩具；「手眼協調」讓他順利抓到玩具；「觸覺」讓他知道這玩具摸起來是什麼感覺。透過這些情報，嬰兒能真正體會這玩具是什麼東西。這些情報，會不斷的刺激神經網路的建立。嬰兒能接受到的情報愈多，聯結的神經鏈網路就愈多愈好。所以，要使大腦有更健全的發展，最重要的方法，就是在生命初期，提供大腦質、量俱佳的訊息，形成壯大的網路結構。

新生兒一出生，就開始利用感官和動作去瞭解這個世界。除了知覺之外，無論視覺、聽覺、嗅覺、觸覺都迅速發展。接下來介紹嬰兒各個時期的心智發展程度，並且分成聽覺、視覺和動作三個部分來詳述[9]-[10]：

0 至 3 個月大：

**動作：**無規律、不協調動作，2 個月以後能抬頭，但不能很好地控制頭頸部。

**聽力：**嬰兒剛出生時對聲音還不十分敏感，對 50 ~ 60 分貝的聲音，嬰兒可表現為眼睛睜開，全身抖動，兩手握拳，前臂曲屈；對大聲可有驚跳反應。大約 3 個月時，嬰兒能分辨出不同方向發出的聲音並會向聲源轉頭，關注熟悉人的說話，會用微笑來接受大人對他的說話，母親的聲音比生人的聲音更易於接受。

**視覺：**嬰兒剛出生時視力模糊，大約只有 0.05 到 0.025 的視力（約為正常成人視力 1.0 的二十至四十分之一的視力）。但是對光會有反應。約 6 至 8 周大時，寶寶的視線似乎會跟著東西移動，視覺已經發育至可以「固視」的階段了。而三個月左右發展至「追視」階段，兩眼能更精準跟隨移動的物體，不論移動速度的快慢。

4 至 7 個月大：

**動作：**扶著髖部能坐，手能握持玩具，頸部控制較好，接近 6 個月時可獨坐一會兒。

**聽力：**對於距耳 60 cm 的 35 ~ 40 分貝的較輕的聲音作出持續可信的反應，聽到母親聲音停止活動時，頭轉向聲源，對不同的（友好的、生氣的）語調作出不同的反應。

**視覺：**4 個月大的寶寶視力約有 0.1，可以看出遠近的差異，而立體感也在此時快速發育，最遲必須在 7 個月大前發展完成。寶寶在 6 個月大時，就約有 0.5 的視力（約成人的一半）。

8 至 12 個月大：

**動作：**會拍手，穩坐，會自己坐起來躺下去，能自己站立；1 歲能獨走，能彎腰拾東西。

**聽力：**對聲音的定位能力有明顯提高，對較輕的有意義的聲音可表現出興趣，對聲場中的轉音亦開始反應，如反復給較輕的無意義的聲音，嬰兒可產生厭煩感，且可控制和調節自己的反應。對名字做出反應；辨認一些遊戲中的短語；辨認日常生活中常用的詞（如：搖手表示“再見”）。

**視覺：**嬰兒視力持續成長，會開始注意自己身體的器官，例如：看自己手上的玩具、看著鏡子中自己的臉。

經由上述，可以看出嬰幼兒在出生後成長速度是相當快速的。所以在這時期對嬰兒的適當刺激顯得格外重要。而本論文的目的即是提供嬰兒一個更多環境刺激與探索機會的平台。

## 2.2 嬰兒互動玩具與監控相關產品

本小節蒐集全球最大網際網路購物平台亞馬遜網站 (<http://www.amazon.com/>) 上的相關產品。依功能分為兩部分：嬰兒監控工具與嬰兒互動玩具，探討目前市面上產品特色。搜尋關鍵字為：baby monitor、baby toy。

### 2.2.1 嬰兒監控產品

嬰兒監控商品琳琅滿目，但大部分功能其實大同小異，基本配備為視訊、夜視功能、聲音傳輸，例如 iBaby 公司出品的 iBaby Monitor M6；部分商品還可以雙向聲音傳輸、感測環境溫溼度、撥放音樂或聲光效果，例如圖 2.4 中 Withings 公司出品的 Withings Smart Baby Monitor；而也有少數產品專注於特殊生理訊號監控，如呼吸監控、移動監控等等，例如圖 2.5 中 Angelcare 公司的 Angelcare Video, Movement and Sound Monitor。表 2.1 是從 Amazon 網站搜尋出的部分商品特色表。



圖 2.3、iBaby Monitor M6(取自[11])



圖 2.4、Withings Smart Baby Monitor(取自 [12])



圖 2.5、Angelcare Video, Movement and Sound Monitor(取自 [13])

表 2.1、嬰兒監控產品

產品名稱	出產公司	特色
Fosbaby Digital Video Baby Monitor[14]	Foscam	雙向聲音傳輸、撥放搖籃曲、溫度偵測、音量警訊、動作偵測
Foscam FBM3502 Digital Video Baby Monitor[15]	Foscam	撥放搖籃曲、雙向聲音傳輸、溫度感測
Cyber-Bay Intelligent Mini Baby Monitor[16]	Cyber-Bay	雙向聲音傳輸、溫度偵測、撥放音樂
Motorola MBP8 Digital Audio Monitor[17]	Motorola	僅有聲音感測、撥放搖籃曲
Motorola MBP36S Remote Wireless Video Baby Monitor[18]	Motorola	撥放搖籃曲、雙向聲音傳輸、溫度感測
Gynoi WiFi Wireless Video Baby Monitor[19]	Gynoi	雙向聲音傳輸、噪音偵測、動作感測
Withings Smart Baby Monitor[12]	Withing	雙向聲音傳輸、小夜燈、溫度偵測、濕度偵測、噪音偵測、活動偵測
Angelcare Video, Movement and Sound Monitor[20]	Angelcare	呼吸偵測、雙向聲音傳輸
Snuza Baby Monitor, Hero[21]	Snuza	呼吸偵測
iBaby Monitor M6[22]	iBaby	可 360 度移動視角

### 2.2.2 嬰兒互動玩具

由於週歲大的嬰兒行動能力尚未發展完全，大部分給予的玩具是可在手腳把玩的塑膠或絨毛玩具，如圖 2.6 左圖的嬰兒玩具球；或是如圖 2.6 右圖由家長手動開關，嬰兒無法碰觸到的床邊音樂鈴。但這些遊戲方式其一是變化性太少，孩童容易對刺激麻痺，其二是缺少互動性，無法以“玩”的方式呈現，只能算是吸引注意力而已。





圖 2.6、左圖為嬰兒玩具球，右圖為床邊音樂鈴

結合以上兩小節的產品可觀察到，目前市場上雖然有監控嬰兒的產品，也有給嬰兒互動的玩具，但卻少有既有監控功能，亦有互動遊戲的商品出現。本論文即是希望藉由結合兩項功能性的產品，探索新的可能。

## 2.3 數位樂器介面

MIDI 是數位樂器介面 (Musical Instrument Digital Interface) 的縮寫，用來將電子樂器互相連結或者與電腦溝通的一種傳輸協定。1983 年 MIDI 被提出至今，MIDI 已成為電子音樂界很重要的標準[23]。MIDI 並不傳送聲音訊號，而是傳送音調與音樂強度的數位資料或控制訊息給電腦或電子樂器，再透過音效卡發出聲音，當 MIDI 樂器演奏了一個音符時，其代表的是一個 MIDI 的訊號。透過記錄這些數位訊號的方式可以讓 MIDI 的檔案結構縮小，且數位的資料對程式設計也相當的方便。以下將簡介 MIDI 的程式語言。

### 2.3.1 MIDI 名詞簡介

#### 頻道 (Channel)

頻道在 MIDI 介面中就類似一個聲部，一個 MIDI 會有最多 16 個 Channel，也就是我們可以同時讓 16 個聲部同時發出聲音。

#### 音軌 (Track)

一個 MIDI 檔案有至少一個音軌，多則數個音軌，音軌的功用是紀錄演奏的資訊。而音軌播放時，必須有相對應的 Channel 才能發出聲音。

#### 音符 (Note)

一個聲音的訊息為一個音符，音軌內紀錄的訊息就是彈奏的音符，而一個音軌會有數個音符，音符也可以同時發出聲音，像演奏和弦一般。

#### 時間計算單位 (Tick)

Tick 為 MIDI 上計算時間的單位，代表一拍的等分區隔。假設 120 tick 每拍，則每個 tick 表示  $1/120$  拍的長度。當我們的速度設定為 100 時，也就是一分鐘 100 拍，則每個 tick 實際的長度為 0.005 秒。

## 檔案結構

一個 MIDI 的事件大多為 3-4 個 Bytes 組成，通常分為兩種：狀態位元組 (Status Bytes) 與資料位元組 (Data Bytes)。當這個 Byte 代表的是狀態位元組時，第一個 bit 為 1；如果是資料位元組則第一個 bit 為 0。而一個 MIDI 的事件，通常由時間差 (Delta times)，與一個 Status Bytes 和兩個 Data Bytes 所組成。

### 2.3.2 MIDI 檔案資料格式與事件介紹

#### MIDI 檔案格式

一個標準的 MIDI 檔案會包含兩個區塊 (Chunk)，一個是檔頭區塊 (Header Chunk)，如表 1。另一個為音軌區塊 (Track Chunk)，如表 2。

標準的 MIDI 檔案的前四個 Byte 必定為 MThd，代表 MIDI 檔案的開始。「資料長度」代表之後還有多少 Byte 屬於檔頭區塊，一般都是 6 個 Bytes。「MIDI 格式」有 0、1、2 三種格式。0 代表 MIDI 只有一個音軌，該音軌包含所有的資料；1 代表檔案內有多個音軌，這些音軌必須要同步播放，是現在常見的 MIDI 檔案；2 同樣代表檔案內有多個音軌，但這些音軌可以非同步的方式播放，每個音軌可以有自己的節奏。「音軌數量」代表 MIDI 檔案有幾個音軌區塊。而「時間單位」則表示該 MIDI 時間分割數，也就是 tick。

音軌區塊的區塊名稱為 MThd 開頭，接著也是 4 Bytes 的資料代表整個音軌接下來還有多少 Byte 屬於這個音軌。而「音軌資料」則是記錄 MIDI 事件，音軌的最後三個 Byte 為 FF 2F 00 代表這個音軌區塊的結束。

表 2.2、檔頭區塊的資料結構

資料長度	4 Bytes	4 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes
資料描述	區塊名稱	資料長度	MIDI 格式	音軌數量	時間單位
資料數值	“MThd”	0x06	0-2	1-65536	120

表 2.3、音軌區塊的資料結構

資料長度	4 Bytes	4 Bytes	N Bytes
資料描述	區塊名稱	資料長度	音軌資料
資料數值	“MTrk”	N	

## MIDI 事件

每個 MIDI 事件都會包含時間差 (Delta times) 與事件的資料。時間差代表的是與前一個 MIDI 事件的時間間隔，利用可變長度編碼，以 1- 4 個 Bytes 紀錄 ticks，而每個 Byte 的第一個 bit 為 1，時間差最後一個 Byte 的第一個 bit 為 0。

事件本身包含了頻道訊息 (Channel Message) 、系統訊息 (System Message) 與 Meta Events。系統訊息大多與 MIDI 硬體有關，而 Meta Event 通常以 FF 開頭，可以記錄節奏、時間、音調、文字訊息與音軌結束碼。

## 頻道訊息

MIDI 的頻道訊息格式如下表 3：

表 2.4、頻道訊息格式

	時間差	事件名稱	頻道	Data1	Data2
資料長度	可變長度	4bits	4bits	1byte	1byte

其中頻道以 4bits 來代表 16 個 channel，而事件名稱則如下表 4：

表 2.5、頻道訊息的事件名稱

事件名稱	值 (4 bits)	Data1	Data2
Note On	0x8	音符	音量
Note Off	0x9	音符	音量
Program Change	0xC	樂器代表號碼	

### 1. Note On 與 Note Off

Note On 與 Note Off 是最常使用的音樂訊息，Note On 代表發出

該音符聲音，而 Note Off 代表停止該音符。

## 2. Program Change

用來改變樂器的音色，其值為 0-127。

## 2.4 嬰兒監控相關文獻

嬰兒安全監控與嬰兒的肢體行為息息相關，例如近年來好發於新生兒的「嬰兒猝死症候群」[24]，有部分原因即是嬰兒的翻身與轉頭等動作造成窒息情況發生。所以相關研究無不研究肢體動作變化。以下將簡介人體肢體動作偵測相關文獻，然後再介紹嬰兒監控。

Bhatt 等人研究六個月大，狀態為坐姿的嬰兒是否使用手撿起異物放入口中，方法是利用膚色偵測頭與手、腳，且追蹤手與口部是否產生重疊，若有重疊則判斷有無異物放置嬰兒嘴巴[25]。Bobick 等人則透過 temporal templates 辨識肢體動作，利用 motion-energy image 和 motion-history image 紀錄肢體動作變化。temporal templates 優點在於易於辨識有順序與規律的肢體行為，假若偵測目標的動作較為複雜，則無法利用此方法辨識。另外，除了使用膚色偵測來擷取肢體與臉部位置，Juang 等人與 Fujiyoshi 等人利用身體輪廓與中心點的距離統計圖，統計區域最大值為身體輪廓凸起處，可能為頭與四肢的所在位置[26]-[27]。利用這些輪廓統計圖可辨識人體為站姿、彎腰或是躺平，或

是利用輪廓統計圖變換的頻率判斷人在走路還是跑步狀態。

至於嬰兒監控部分，邵認為新生兒的動作關係圖是由連續的肢體動作所組成，提出利用新生兒肢體動作示意圖(posture map)與資料庫的動作關係圖比對，如圖 2.7，如果新生兒的肢體動作示意圖不存在動作關係圖內或是符合動作關係圖內危險的節點，則發出警告[28]。

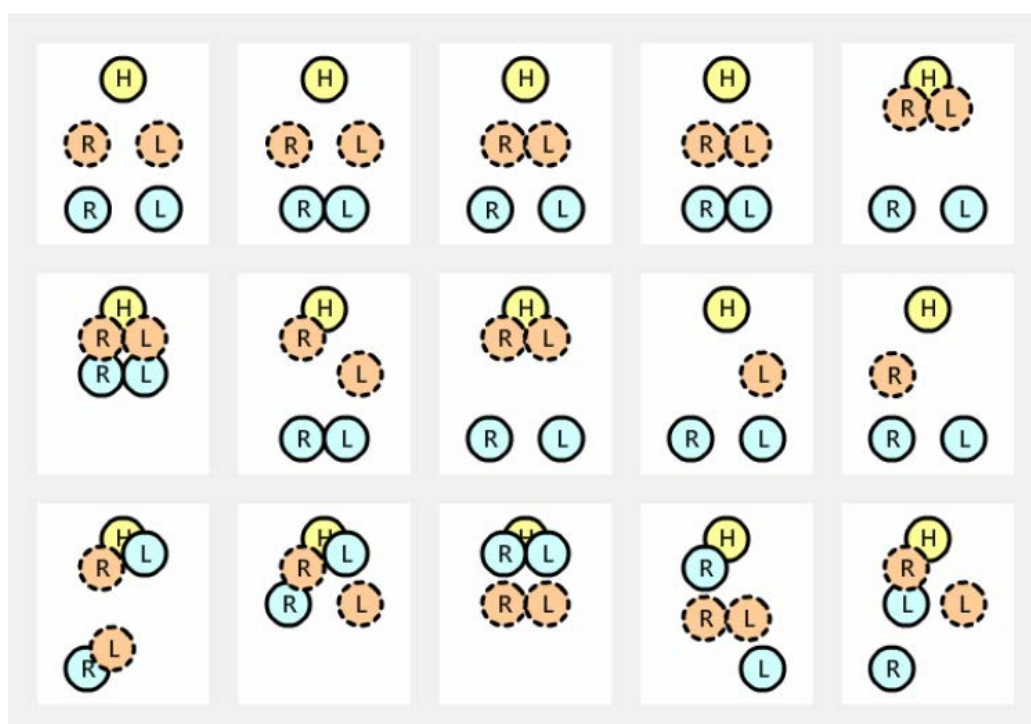


圖 2.7、嬰兒動作示意圖(取自[28])

另外，蕭所使用的方法為，建立前景物顏色模型，使用膚色做嬰兒偵測，將擷取出的特徵做危險程度分析，代入函式得到危險程度值，以避免翻身、外物入侵、嬰兒被抱離等危險事件[29]。而林使用膚色偵測擷取嬰兒練部區塊，利用動差對嬰兒臉部做特徵擷取，接著透過決策樹來分類嬰兒處於何種狀況[30]。

### 第三章、系統硬體設計

本論文設計的嬰兒音樂互動監控系統軟硬體架構如圖 3.1 所示，系統分為兩個部分。第一部分是單板機(single-board computer)與感測器所組成的硬體部分，以單板機作為主控台連結各個感測器與網際網路。第二部分為軟體處理，感測器接收環境訊號後，在單板機上處理、判斷嬰兒當前狀態，透過 speaker 給予嬰兒音樂回饋或是透過網路傳送影像、警訊給 APP。本章節將介紹嬰兒互動與監控系統的硬體部分。

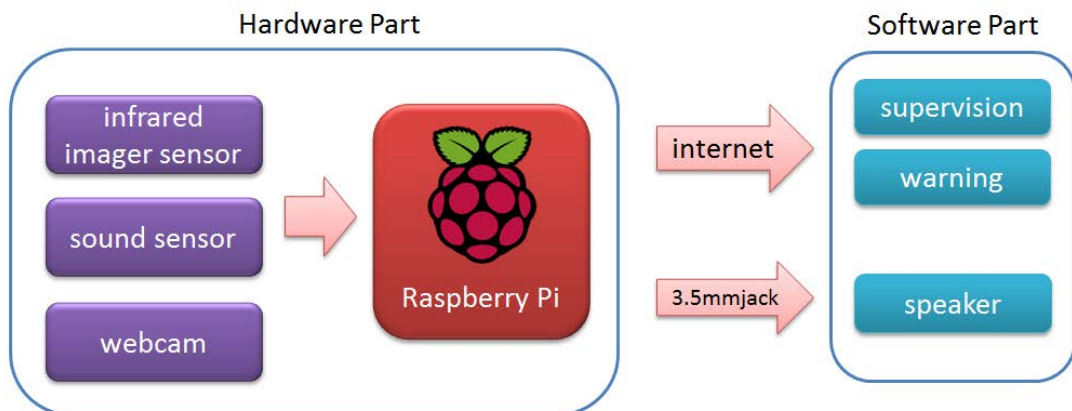


圖 3.1、系統軟硬體平台架構圖

#### 3.1 硬體開發板與感測器介紹

在起初規劃時，就希望系統能以輕巧、容易拆裝、不佔空間的型態呈現，故捨棄 PC(個人電腦)的高效能與親切的介面，改用單板機作為開發平台，且選擇擁有完善作業系統 Raspbian 的 Raspberry Pi 2 如圖 3.2；熱像儀則是選擇 FLIR 公司所生產的 Lepton，擷取環境的熱像圖，



透過 SPI 協定傳送至單板機；而 LEGO Sound Sensor 用來測量環境音量，由於樹莓派上無 ADC 晶片，所以透過數位類比轉換 IC MCP3008 將類比訊號轉為數位傳給樹莓派。各資訊在板子上處理後，經由 3.5mm 音訊孔從 speaker 發出 midi 音樂與嬰兒互動。如果當前嬰兒處於不安全狀態，則傳送警訊給 APP，且給予 webcam 所拍攝的即時影像。圖 3.3 為音樂互動與監控系統硬體架構圖。



圖 3.2、Raspberry Pi 2 Model B(取自[31])

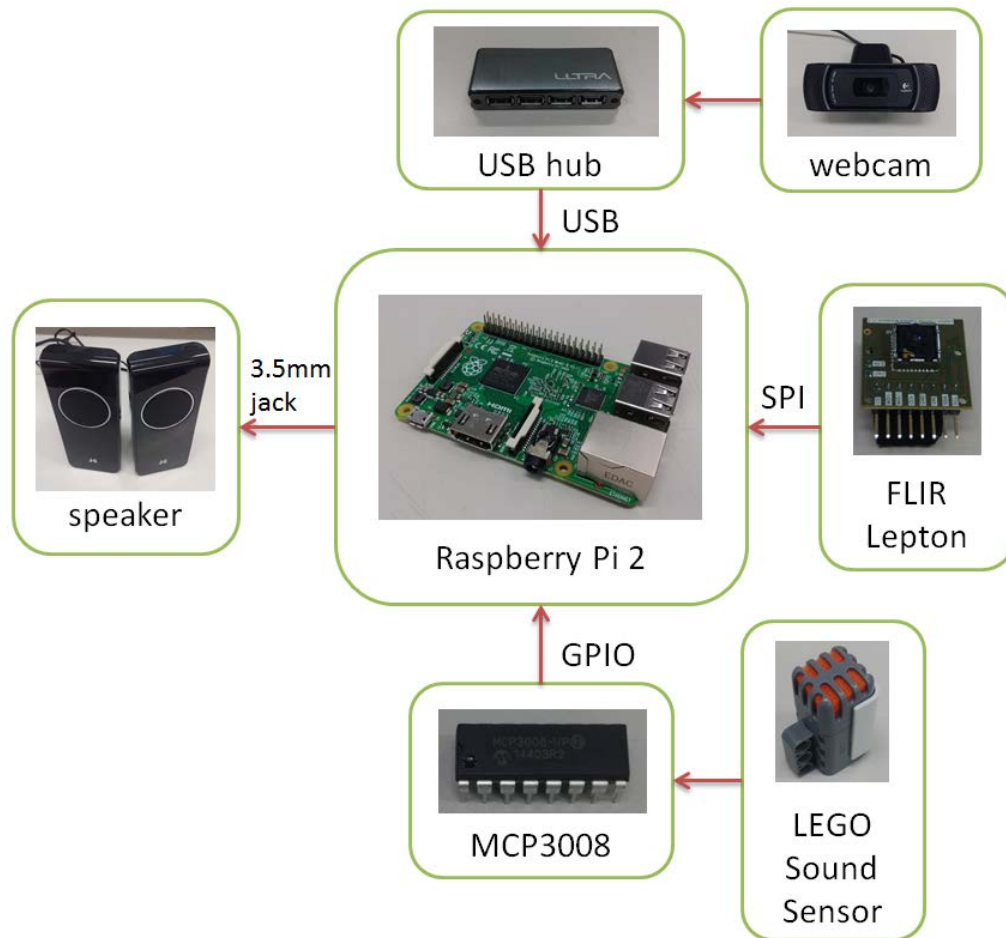


圖 3.3 系統硬體架構圖

### 3.1.1 單板機 - 樹莓派

樹莓派開發板Raspberry Pi 2是由英國樹莓派基金會(Raspberry Pi Foundation)所開發的微型電腦，目的是希望提供低價硬體、整合自由軟體，以達到刺激電腦科學教育的目標[32]。樹莓派第一代於2012年發表，有多種規格可以選擇，包含Model A、Model A+、Model B與Model B+，均使用Broadcom BCM2835處理器，核心為ARM11單核心架構，

時脈700MHz。時隔三年之後，迎來了處理器規格升級的Raspberry Pi 2，採用ARM Cortex-A7架構的Broadcom BCM2836，為四核心處理器、時脈高達900MHz，一二代效能差距有六倍之多，詳細規格如表。

表 3.1、Raspberry Pi 2 Model B 規格表(取自[31])

晶片	Broadcom BCM2836 SoC
核心架構	Quad-core ARM Cortex-A7
處理器時脈	900 MHz
圖形處理器	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
記憶體	1GB LPDDR2
大小	85 x 56 x 17mm
電源	Micro USB socket 5V, 2A
網路孔	10/100 BaseT Ethernet socket
影像輸出	HDMI (rev 1.3 & 1.4)
音訊輸出	3.5mm jack, HDMI
USB	4 x USB 2.0 Connector
GPIO 腳位	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines

樹莓派2提供四個USB2.0接孔、乙太網路孔、1GB大小記憶體，由5V micro USB供電，本次開發將用到如圖 3.4所框出部分，包含：GPIO、USB、HDMI、3.5mm jack、Ethernet、power。其中腳位GPIO7(CE1)、

GPIO9(MISO)、GPIO10(MOSI)、GPIO11(CLK)、GPIO2(SDA)、GPIO3(SCL)與3.3v、Ground為Lepton會使用到的部分。

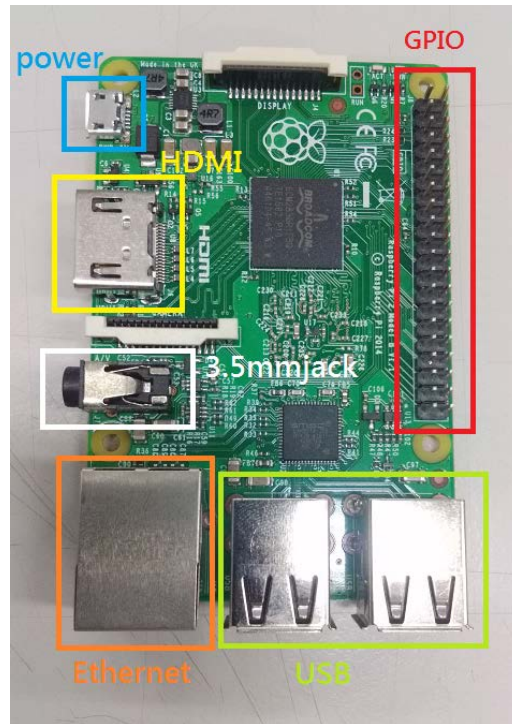


圖 3.4、Raspberry Pi 2 硬體外設

### 3.1.2 熱像儀

Lepton 是 FLIR 公司所出產的遠紅外線(long-wave infrared)鏡頭模組，設計用來嵌入行動裝置或是消費性產品。無零售商代理，只能透過 PureEngineering 以團購方式購入 [33]，鏡頭如圖 3.5，單價為\$207 美金，Breakout Board 如圖 3.6，單價為\$45 美金。



圖 3.5、FLIR Lepton 鏡頭(取自[33])

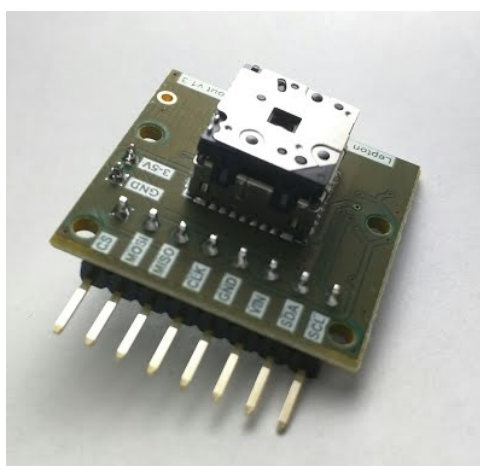


圖 3.6、Lepton 用的 Breakout board(取自[33])

Lepton 像素 80X60，具有多種介面可供使用，包含行動產業處理器介面(MIPI)、序列周邊介面(SPI)等等；且鏡頭支援平場校正(flat-field correction)優化功能，可減少雜訊影像。Lepton 規格如下表所示：

表 3.2、FLIR Lepton 規格表[34]

Specification	Description
Spectral range	Longwave infrared, 8 $\mu\text{m}$ to 14 $\mu\text{m}$
Array format	80 $\times$ 60, progressive scan
Thermal sensitivity	<50 mK (0.050° C)
Temperature compensation	Automatic. Output image independent of camera temperature
Non-uniformity corrections	Automatic (with scene motion)
Depth of field	10 cm to infinity
Output format	User-selectable 14-bit, 8-bit (AGC applied)
Input clock	25-MHz nominal, CMOS IO Voltage Levels
Video data interface	Video over SPI
Control port	CCI (I2C-like), CMOS IO Voltage Levels

Lepton 透過 SPI 傳輸至樹莓派後，可以得到 80x60 pixel 的熱像圖，每個 pixel 擁有一個四位數字的熱度值。然而，Lepton 雖然標榜所測出數值為絕對溫度，但官方並無釋出攝氏溫度的轉換方程式，官方文件謹說明在溫度 0°C~100°C 時，數值接近線性。為求數值可用，以杯子裝不同溫度的水(如圖)，每 5°C 記錄數值，取得從 0°C 至 80°C 的數值，例如圖 3.7、圖 3.8 為 15°C 與 70°C 溫度的水與熱像圖，其熱平均數值分別為 7657、9382。

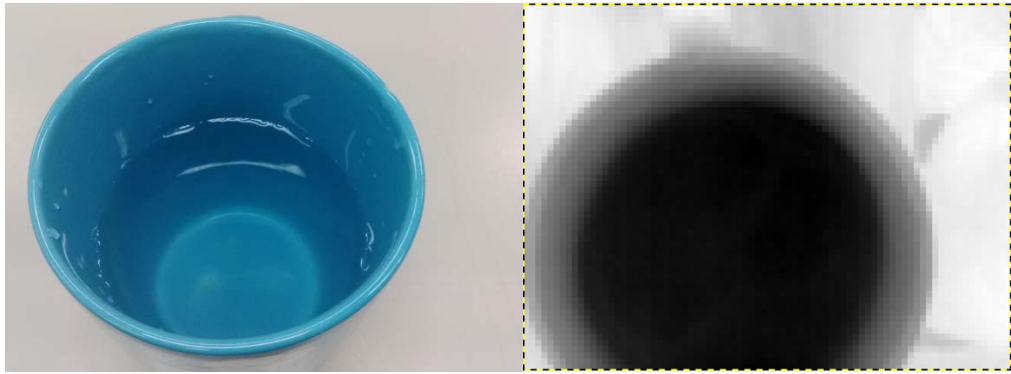


圖 3.7 左圖為以杯子裝 15°C 冷水，右圖為熱像圖

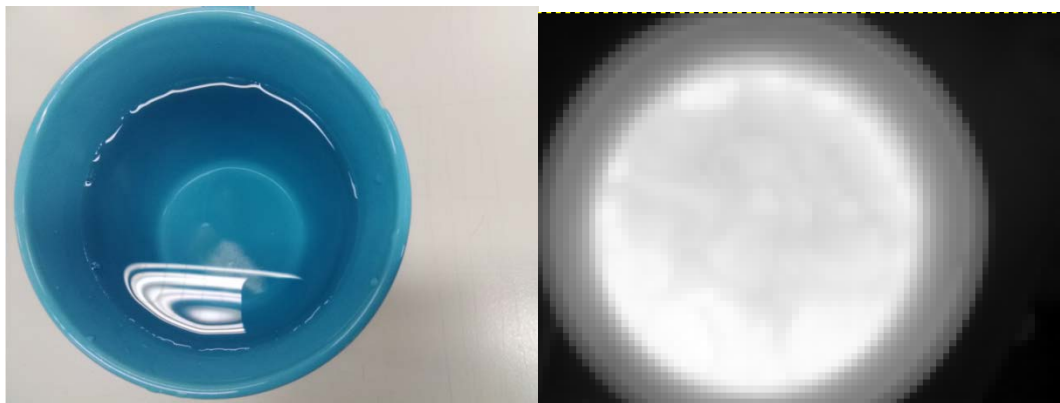


圖 3.8 左圖為以杯子裝 70°C 冷水，右圖為熱像圖

0°C~80°C 分別測量可得到數值如表。再將攝氏溫度、Lepton 數值個別做正規化，透過線性迴歸求得運算方程式(式 3.1)， $x$  為正規化後的攝氏溫度值， $y$  為正規化後的 Lepton 數值， $R^2$  為迴歸係數。迴歸係數是用以判斷迴歸方程式是否有效的指標。而線性圖形如圖 3.9。

表 3.3、0°C 至 80°C Lepton 數值表

°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Lepton 數值	7237	7400	7558	7657	7695	7867	8161	8201	8428
°C	45	50	55	60	65	70	75	80	n/a
Lepton 數值	8548	8804	8930	9163	9270	9382	9504	9644	n/a

$$\begin{cases} y = 1.0376x - 0.0198 \\ R^2 = 0.9938 \end{cases} \quad (3.1)$$

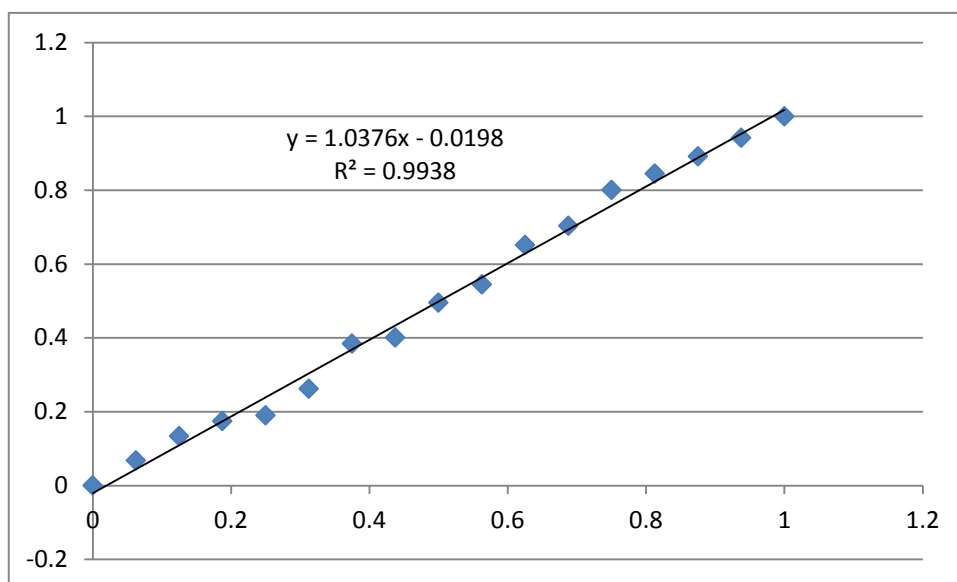


圖 3.9 線性圖形，橫軸為攝氏溫度正規化後數值，縱軸為 Lepton 正規化後數值

### 3.1.3 聲音感測模組

LEGO Sound Sensor 是樂高公司其旗下產品 MINDSTORMS NXT 所使用的感測器之一，如圖 3.10，可測得 90dB 等級的音量[35]；選用 LEGO Sound Sensor 的原因是市面上大部分的聲音感測器都已裝上比較器，輸出值為二值化的 0 與 1，不容易拿來應用，如圖 3.11。而 LEGO Sound Sensor 是由類似 RJ-12 電話線的傳輸媒介送出類比訊號，再由 NXT 控制器做處理，如圖 3.12。而本系統使用此特性，經過 ADC IC 將訊號轉成數值給樹莓派用。





圖 3.10、LEGO Sound Sensor(取自 [35])



圖 3.11、傳統聲音感測器，紅色圈圈處為比較器



圖 3.12、RJ-12，NXT sensor 專用線頭(取自 [36])

### 3.1.3.1 LEGO Sound Sensor 腳位接法

由於 LEGO Sensor 並非設計給一般電路板用，所以沒有 pin 腳位說明，非常不親切。參考了[37]-[38]之後，如圖 3.13 重製 RJ-12 電話線，拉出白色線為類比輸出，黑色線、紅色線為 GND，綠色線為 VCC。

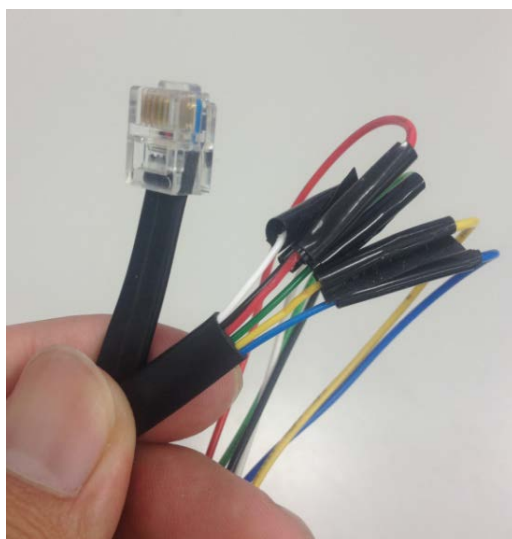


圖 3.13、拉出 RJ-12 線

### 3.1.3.2 MCP3008 ADC

由於 Raspberry Pi 上沒有 ADC，故需要外接 ADC IC 來做數位類比轉換，在參考了[39]之後選擇以 MCP3008 作為本系統的 ADC IC，如圖 3.14。而腳位如圖 3.15，具有八個通道，每個通道可依類比設備的輸入值回傳一個 10Bit 的數值，數值大小介於 0~1023。

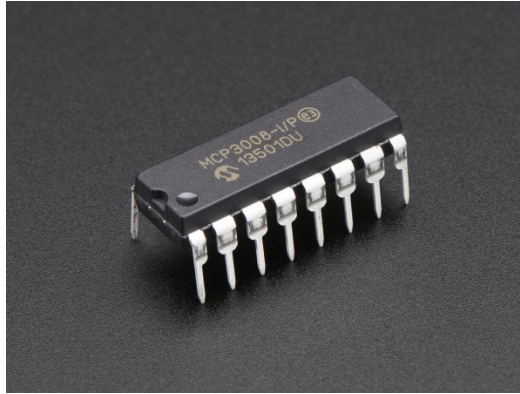


圖 3.14、MCP3008 ADC IC(取自[40])

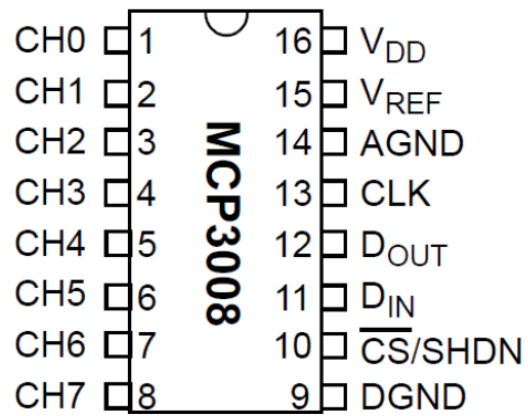


圖 3.15、MCP3008 腳位(取自[39])

### 3.1.4 視訊與音響設定

webcam 使用的是 Logitech 的 C910；speaker 是一般的電腦喇叭。

webcam 必須先接 hub 再接到樹莓派的 USB，使用 hub 的原因是確保足夠的電壓；而 speaker 則接在樹莓派的 3.5mm jack 上。

當 webcam 接上樹莓派後，如果 Raspbian 可支援的話，鍵入 lsusb 指令即可見到系統已抓取到裝置。如圖 3.16。

```
pi@raspberrypi ~ $ lsusb
Bus 001 Device 002: ID 0424:9514 Standard Microsystems Corp.
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 001 Device 003: ID 0424:ec00 Standard Microsystems Corp.
Bus 001 Device 004: ID 046d:0821 Logitech, Inc. HD Webcam C910
```

圖 3.16、Raspbian 抓取 webcam

而 speaker 是隨插隨用，但需要先確定系統有沒有找到音效卡，可輸入指令 `sudo lsmod | grep snd_bcm2835` 查看有無安裝音效卡，輸入 `sudo cat /proc/asound/cards` 指令可看到音效卡型號為何。如圖 3.17。

```
pi@raspberrypi ~ $ sudo lsmod | grep snd_bcm2835
snd_bcm2835      18649  0
snd_pcm         73475  2 snd_bcm2835,snd_usb_audio
snd             51038  9 snd_bcm2835,snd_usb_audio,snd_hwdep,snd_timer,snd_pcm,snd_
seq,snd_rawmidi,snd_usbmidi_lib,snd_seq_device
pi@raspberrypi ~ $ sudo cat /proc/asound/cards
0 [ALSA          ]: bcm2835 - bcm2835 ALSA
                  bcm2835 ALSA
1 [U0x46d0x821  ]: USB-Audio - USB Device 0x46d:0x821
                  USB Device 0x46d:0x821 at usb-bcm2708_usb-1.2, high speed
```

圖 3.17、Raspbian 抓取音效卡

## 第四章、系統軟體設計

圖 4.1 是系統軟體架構圖。軟體架構分成「熱影像部分」與「其他部分」。「熱影像部分」負責處理鏡頭所傳送到樹莓派上的原始資料，運算後得到嬰兒的頭、手與腳的重心位置。「其他部分」包含聲音處理、影像傳送、MIDI 輸出、翻身偵測與發燒偵測，聲音處理接收聲音感測器的原始資料，設定閾值，超過閾值判斷為哭聲，傳送警訊給 APP；影像傳送將視訊傳至 APP，讓家長可以即時取得小孩現況；MIDI 輸出則配合熱影像處理結果，改變樂曲音調或音量，從 speaker 放出音樂。翻身偵測與發燒偵測如果發現小孩處於此兩個狀態，會發出警訊給 APP。

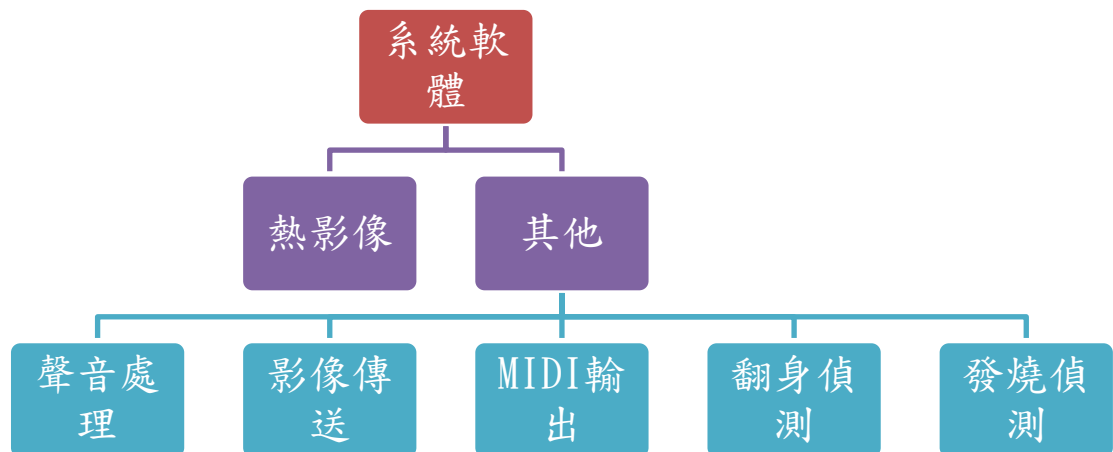


圖 4.1、系統軟體架構圖

## 4.1 熱影像處理部分

本小節介紹系統如何處理熱像圖，流程如圖 4.2。首先從 Lepton 中抓取原始資料，接著設定溫度閾值以擷取出頭、手、腳區域，然後連通各區塊，取出頭與手腳區塊，最後求各區域重心與重心變化量。



圖 4.2、熱影像處理流程

### 4.1.1 閾值設定

由熱像儀得到的原始資料為 80x60 的陣列，每個數值代表其像素的溫度值，數字越大則溫度越高，數字越小則溫度越低。如果將陣列以灰階圖形表示則如圖 4.3。



圖 4.3、實際照嬰兒熱像圖

整張圖中，我們所感興趣的區域為頭部、雙手與雙腳五個區域。依常理推論，在環境無放置其他高溫度物的情況下，人體的溫度會高於其他區域溫度；而頭與手腳裸露皮膚的部分，又會比人體其他區域溫度來得高。圖 4.4 中用 OpenCV 製作一個 bar 調整溫度閾值，像素溫度高於閾值則塗紅色，反之塗黑色。可得知每張圖片確實存在一個閾值，可以使整張圖片區分手腳頭與其他區域。

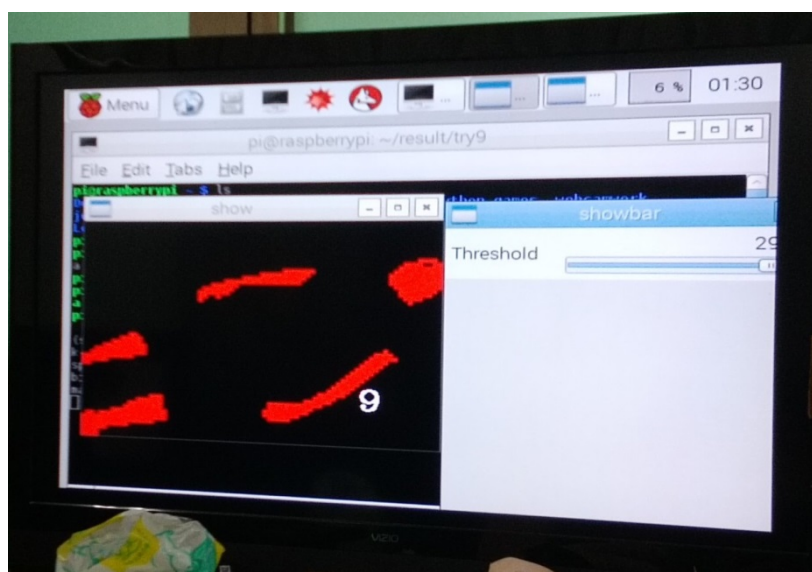


圖 4.4、使用 bar 微調溫度閾值的熱像圖



本系統取得閾值的方法是整張圖的前百分之六高的溫度設為閾值。以 frame 大小為 80x60 的熱像圖來說，總 pixel 數為 4800，取前百分之六即是第 288 高溫的值設為閾值。實際做法流程是取得 raw data 之後，排序整張 frame 的數值，取出第 6% 高的數值為閾值，高於閾值的設為前景，其餘為背景，得到的結果如圖 4.5、圖 4.6。

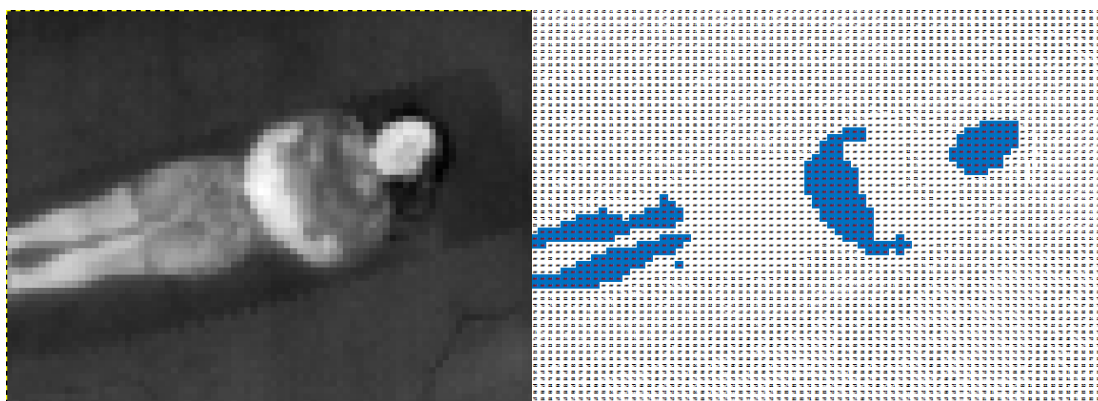


圖 4.5、以 6% 為閾值熱像圖一

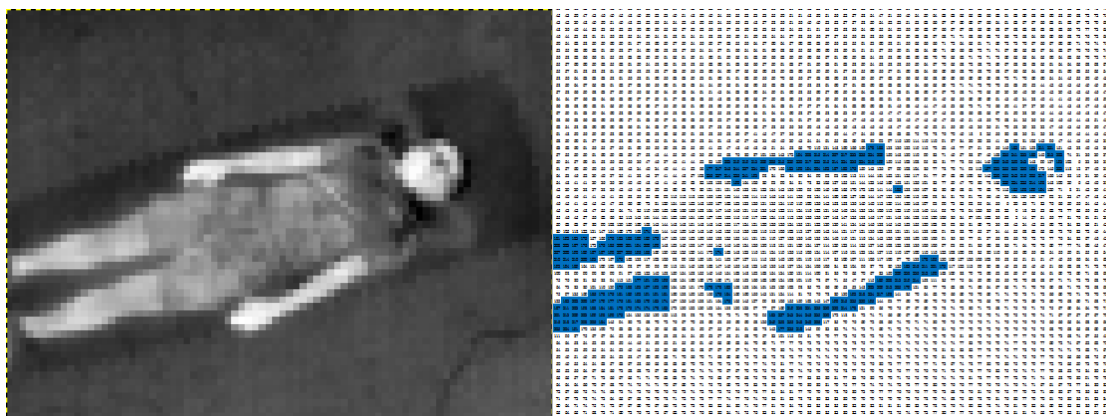


圖 4.6、以 6% 為閾值熱像圖二

從圖中可看到，除了頭與四肢部分，還有一些雜點產生，後兩小節會使用四聯通連接區間、取前五大區塊兩個步驟，來漠視圖片上的雜點。



### 4.1.2 連通區域

在經過 4-1-1 的處理之後，圖中像素的數值內容可分為 0 或 1，有通過閾值的 pixel 為 1，反之則為 0。接著將整張熱像圖做四連通運算，四連通即是每個 pixel 與其四相鄰為同一類，如圖 4.7。實際做法是從整張圖最上且最左邊的 pixel 開始，往右且往下作相鄰偵測，當有相鄰值為 1 則設為同一類，以遞迴執行，直到最右且最下方的 pixel 為止。

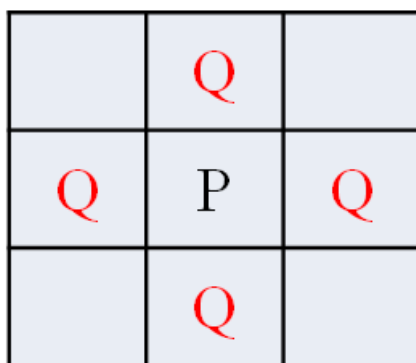


圖 4.7、P 與 Q 為四相鄰

完成四連通之後，僅取出面積前五大的區域，視為手腳可能的區塊，其餘部分視為背景，此法可以過濾一些非頭與手腳的雜點，所得結果如圖 4.8。

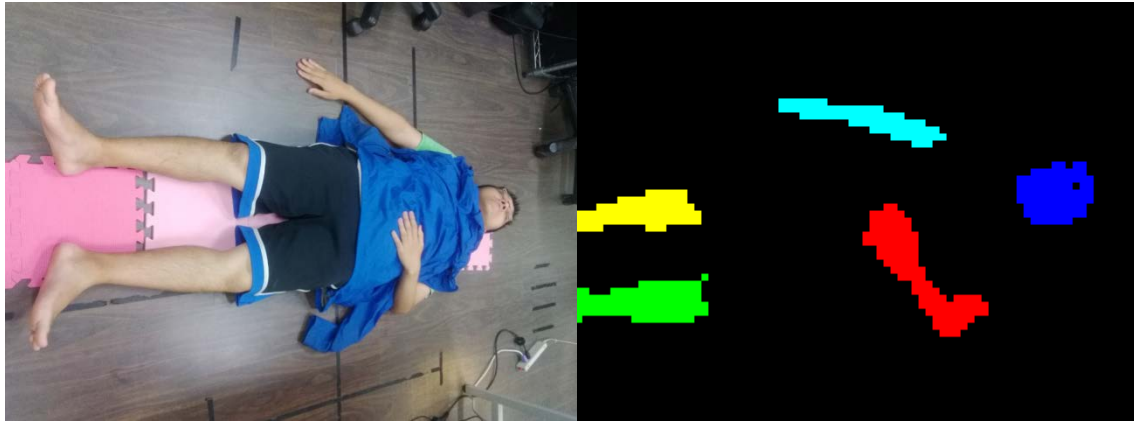


圖 4.8、四連通後，且取出前五大區域圖

### 4.1.3 求各區域重心變化量

五大區域再求出個別重心，如圖 4.9。



圖 4.9、各區域重心圖

重心變化量的求取方式，是每個 frame 紀錄各區域重心位置，目前 frame 的重心位置與上一個 frame 的重心位置取歐氏距離，即為其重心變化量。

## 4.2 其他部分

### 4.2.1 哭聲偵測

MCP3008 為 10bit ADC，傳入樹莓派的值大小會介於 0~1024 之間，接著設定調整閾值，高於閾值的音量判斷為哭聲。而閾值的訂定以實際測量為主，以十次測量哭聲音量數值做平均，當作閾值。

### 4.2.2 發燒偵測與翻身偵測

論文中所使用的發燒偵測是配合圖 3.9 的轉換方程式，將頭手腳部分 Pixel 溫度做平均，當高於平常體溫 1°C 時，則發出警告。

翻身偵測所使用的方法是每張 frame 取一中線，區分為上半區域與下半區域如圖 4.10，而人在平躺時會所呈現的位置應該如同圖 4.11，故假設，平躺時人體在上下兩半區域的 pixel 數差值會在某個範圍內；而翻身時如圖圖 4.12，pixel 數差值將不會在此範圍內。



圖 4.10、Frame 分上下區域圖

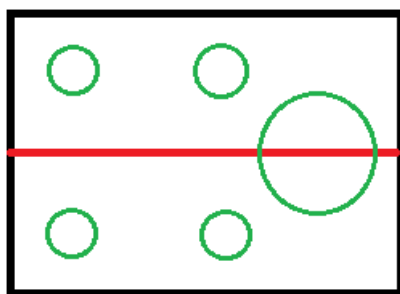


圖 4.11、Frame 分上下區域，人體呈現平躺圖

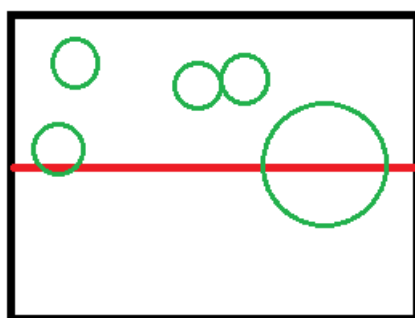


圖 4.12、Frame 分上下區域，人體呈現翻身圖

而我們以頭手腳部分 Pixel 數的百分比來訂定此範圍閾值，例如取 30 %則代表上下區域 Pixel 數差值到超過 87pixel，則判斷翻身。且配合翻身時間長短，來給予警告。此部分將在第五章有詳細實驗介紹。

### 4.2.3 影像傳輸與 APP

影像傳輸部分則是使用開源的視訊串流模組 mjpg-stream 來實作，常用參數如表。例如所下指令為 `./mjpg_streamer -i "/input_uvc.so -y -r QVGA -f 15" -o "/output_http.so -w ./www"`，可得 YUYV 影像、大小為 QVGA、每秒 15 個 frame。

表 4.1、Mjpg-stream 參數表

可用參數	說明	參數選擇
-r	影像大小	QSIF/QCIF/CGA QVGA/CIF/VGA SVGA/XGA/SXGA
-d	指定 device	user set
-f	每秒 frame 數	user set
-q	JPEG 品質	user set
-p	設定 TCP Port	user set
-c	設定帳密	user set
-y	YUYV	n/a

APP 則是修改 PiTurtleCar 程式，從 mjpg-stream 所提供的 HTTP server 端抓取影像，再加上警告標語與警告通知，如圖 4.13。

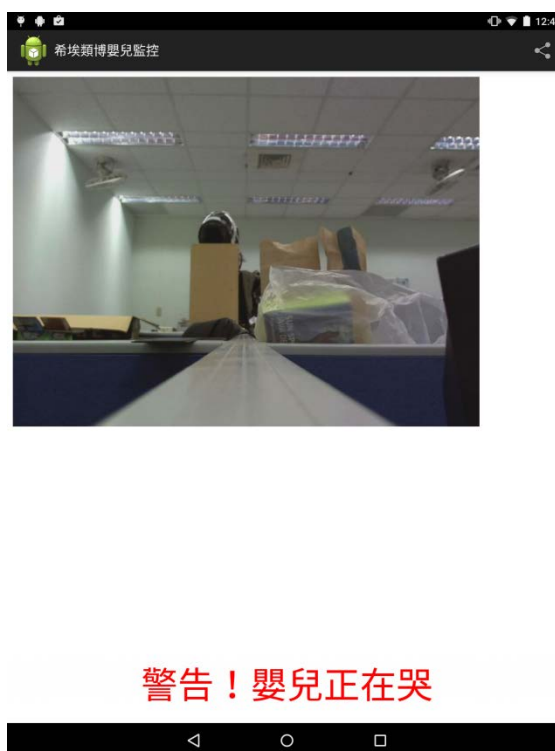


圖 4.13、監控 APP

#### 4.2.4 事件記錄

在系統執行中，會持續記錄所發生的事件，且存在 record.log 檔案。舉凡嬰兒發出哭聲、嬰兒發燒、嬰兒翻身，都會記錄時間。如圖 4.14 所示。

```
pi@raspberrypi ~/log $ cat record.log
baby is crying at Mon Jul 6 18:51:14 2015
baby turns over at Mon Jul 6 18:51:14 2015
baby has a fever at Mon Jul 6 18:51:14 2015
```

圖 4.14、事件記錄

#### 4.2.5 MIDI 輸出

本小節介紹音樂互動玩法，依照 MIDI 輸出的變化性，可以創造玩法的多元性。而由於目標為週歲內的嬰兒，應以直覺易領會為主，不宜設計太複雜的玩法。本論文主要以改變聲音大小、樂曲速度、音調高低、樂器種類為主。說明如下：

- 一、 擺動四肢頻率高低改變聲音大小
- 二、 擺動四肢頻率高低改變樂曲速度
- 三、 左手揮動提高音調，右手揮動降低音調
- 四、 手部揮動與腳部揮動發出不同樂器聲音

藉此四種玩法，希望能給予嬰兒感官上的刺激，使他們探索音樂與動作上的關聯性，以達到遊戲與教育的目的。

### 4.3 熱像儀與網路攝影機的比較

本小節將比較熱像儀與網路攝影機(webcam)在日、夜間環境的偵測結果，且探討熱像儀與網路攝影機的優缺點。

網路攝影機影像擷取頭手腳的方法是採用膚色偵測，使用 Hu 等人 [41]所提出的式子(4.1)，其中  $Cb$  與  $Cr$  分別為藍色與紅色的偏移量， $Skin = 1$  代表系統判斷為膚色部分， $Skin = 0$  代表非膚色部分，所得結果如圖 4.15。

$$Skin = \begin{cases} 1, & \text{if } \begin{cases} 77 < Cb < 127 \\ 133 < Cr < 173 \\ 190 < Cb + 0.6Cr < 215 \end{cases} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4.1)$$

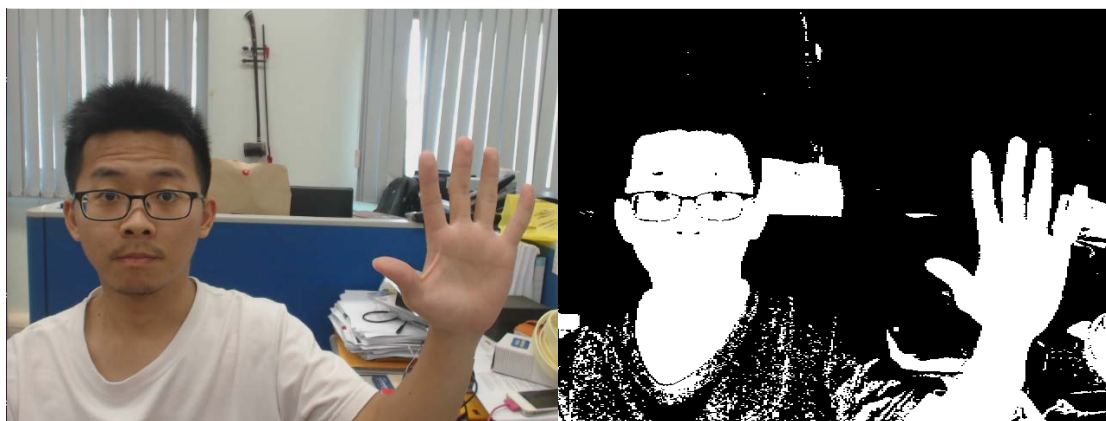


圖 4.15、膚色偵測示意圖，左為原始圖像，右為膚色偵測結果

由圖 4.15 右圖可得知即使監測膚色的 YCbCr 範圍，亦有可能擷取到非皮膚部分，所以膚色偵測的背景選擇是受限制的，而熱像儀有較少的環境背景限制。

### 4.3.1 日夜間偵測結果比較

此小節比較日夜間的效果差異。在燈光充足、無類膚色背景的環境底下，使用網路攝影機與熱像儀所得結果如圖 4.16。而在環境無燈光的環境底下，所比較的結果如圖 4.17。



圖 4.16、明亮環境下，膚色偵測結果如左圖，熱像偵測結果如右圖

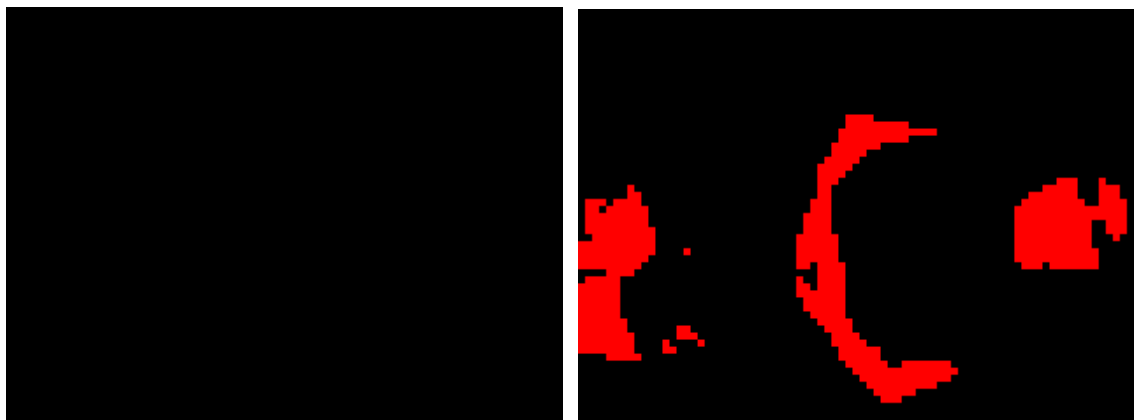


圖 4.17、無光的環境下，膚色偵測結果如左圖，熱像偵測結果如右圖

可得知雖然膚色偵測在光線充足環境底下可以得到較佳的效果，但在無光源底下是完全無法使用的。對比與此，熱像偵測可以完全克服環境燈光的問題，較適合用來做全天候安全監控。



## 第五章、實驗設計與結果

### 5.1 實驗設計

本章節的實驗是針對下列兩點做設計：

- 一、4.1 節所提出的方法是否能準確分類頭手腳與背景。
- 二、4.2.2 節所使用的翻身偵測方法是否能準確判斷翻身狀態。

第一點的實驗將請五位受試者依無蓋被正躺、無蓋被側躺、有蓋被正躺與有蓋被側躺四個情境下受測，並且請受試者分別穿著長袖與短袖，測試系統是否能正確分開頭手腳部分與背景部分，且計算準確率。

第二點的翻身偵測，我們使用分類中常見的評估指標：Precision(精確率)、Recall(召回率)與 Accuracy(準確率)。

首先，這邊先定義 TP、FP、FN、TN 四種分類情況，並用正類與負類來說明其意義。

表 5.1、Relevant、Retrieved 概念

	正相關 (Relevant)	負相關 (Non-Relevant)
被檢索到 (Retrieved)	True Positives(TP) 正類判定為正類	False Positives(FP) 負類判定為正類
未被檢索到 (Not Retrieved)	False Negatives(FN) 正類判定為負類	True Negatives(TN) 負類判定為負類

而此實驗以翻身為主，故設定有翻身為正類，定義標示如下表：

表 5.2、系統檢測定義

	正相關	負相關
被檢索到	翻身判定為翻身	沒翻身判定為沒翻身
未被檢索到	翻身判定為沒翻身	沒翻身判定為沒翻身

然後說明三個評估指標的意義：Accuracy 的定義是分類正確的樣本數與總樣本數之比(式 5.1)；Precision 的定義是所有被檢索到的樣本中，”應該被檢索的”樣本所佔比例(式 5.2)；Recall 定義所有檢索到的樣本佔所有”應該檢索到的樣本”的比例(式 5.3)，可表示系統偵測翻身的靈敏度。

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \quad (5.1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5.2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5.3)$$

接著實驗設定一段固定翻身行為，請五位受試者依照順序進行此些翻身動作，讓系統進行判斷並發出警報，計算偵測翻身次數與誤報次數。最後計算出三個評估指標。

## 5.2 實驗結果

### 5.2.1 頭手腳與背景的分類實驗結果

在此先藉著例子定義系統分類正確與系統分類錯誤的情況。正確分類時將如圖 5.1 所示，能將頭手腳等裸露皮膚部分區分出來，即使區間較為破碎，也視為正確分類，如圖 5.2。



圖 5.1、正確分類頭手腳與背景圖 1

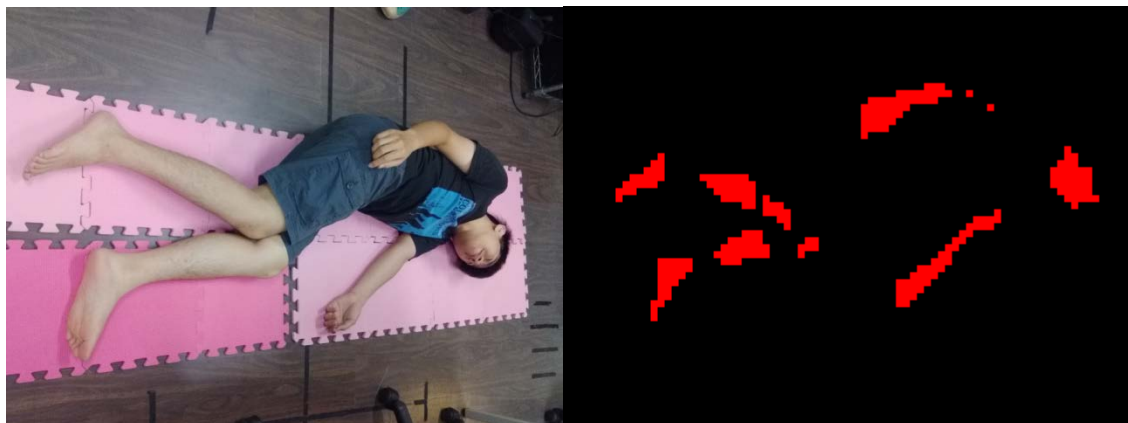


圖 5.2、正確分類頭手腳與背景圖 2

而錯誤分類的情況如圖 5.3 的綠色部分所示，該區為胸口而非頭手腳，但仍畫出。且右腳部分沒有被標出，故為錯誤情況。

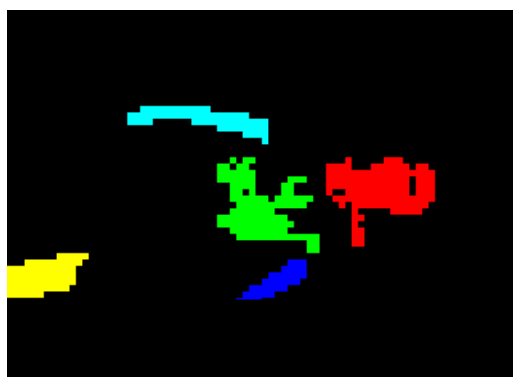


圖 5.3、錯誤分類頭手腳與背景圖

實際測量時請五位受試者分別以長短袖、有無蓋被、正側躺等八種情況進行實驗，每種情況進行五次，結果如表 5.3。

表 5.3、頭手腳與背景分類實驗結果

				次數					辨識率
				1	2	3	4	5	
受試者 1	短袖	有蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	有蓋被	側躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	無蓋被	正躺	X	X	X	X	X	0%
	短袖	無蓋被	側躺	X	X	X	X	X	0%
	長袖	有蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	長袖	有蓋被	側躺	O	O	O	O	O	100%
	長袖	無蓋被	正躺	X	X	X	O	X	20%
	長袖	無蓋被	側躺	X	X	X	X	O	20%
受試者 2	短袖	有蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	有蓋被	側躺	X	O	X	O	O	60%
	短袖	無蓋被	正躺	O	X	O	O	O	80%
	短袖	無蓋被	側躺	O	O	O	X	O	80%
	長袖	有蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	長袖	有蓋被	側躺	O	O	O	O	O	100%
	長袖	無蓋被	正躺	O	X	O	O	X	60%
	長袖	無蓋被	側躺	X	X	X	O	X	10%

受試者 3	短袖	有蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	有蓋被	側躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	無蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	無蓋被	側躺	O	O	O	O	O	80%
	長袖	有蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	長袖	有蓋被	側躺	O	O	O	O	X	80%
	長袖	無蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	長袖	無蓋被	側躺	O	O	O	O	O	100%
受試者 4	短袖	有蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	有蓋被	側躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	無蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	無蓋被	側躺	O	O	O	O	O	100%
	長袖	有蓋被	正躺	O	O	O	O	X	80%
	長袖	有蓋被	側躺	X	X	X	X	X	0%
	長袖	無蓋被	正躺	O	O	X	O	O	80%
	長袖	無蓋被	側躺	X	X	X	X	O	20%
受試者 5	短袖	有蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	有蓋被	側躺	X	X	X	X	X	0%
	短袖	無蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	短袖	無蓋被	側躺	O	O	O	X	X	60%
	長袖	有蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	長袖	有蓋被	側躺	O	O	O	O	O	100%
	長袖	無蓋被	正躺	O	O	O	O	O	100%
	長袖	無蓋被	側躺	X	X	O	O	O	60%

經整理後可得表 5.4，有蓋被(露出頭手腳)成功率較無蓋被高，而正躺成功率也較側躺來得高，符合常理。而總辨識率約為 75.5%。

表 5.4、頭手腳與背景分類結果統計

			成功次數	失敗次數	
短袖	有蓋被	正躺	25	0	100%
短袖	有蓋被	側躺	18	7	72%
短袖	無蓋被	正躺	19	6	76%
短袖	無蓋被	側躺	17	8	68%
長袖	有蓋被	正躺	24	1	96%
長袖	有蓋被	側躺	19	6	76%
長袖	無蓋被	正躺	18	7	72%
長袖	無蓋被	側躺	11	14	44%

### 5.2.2 翻身偵測實驗結果

翻身偵測實驗部分，採取的流程為：平躺 2 秒→向左翻身 15 秒→平躺 2 秒→向右翻身 15 秒→平躺 2 秒→向左翻身 15 秒→平躺 2 秒→向右翻身 15 秒。而系統設定警告時間為 10 秒翻身即警告，會設定為 10 秒的原因是參考 Snuza Hero Baby Movement Monitor 與 Angelcare Video, Movement and Sound Monitor 的設定[42]-[13]。所得結果如下方的表 5.5。且整理為表 5.2 的形式即如表 5.6。

表 5.5、翻身偵測實驗結果

	平躺	翻身	平躺	翻身	平躺	翻身	平躺	翻身
受試者 1	無警告	警告	無警告	警告	無警告	無警告	無警告	警告
受試者 2	無警告	無警告	無警告	警告	無警告	警告	無警告	警告
受試者 3	無警告	警告	無警告	警告	無警告	警告	無警告	警告
受試者 4	無警告	警告	無警告	警告	無警告	警告	無警告	警告
受試者 5	無警告	警告	無警告	警告	無警告	警告	無警告	警告

表 5.6、以系統檢測定義表所呈現實驗結果

	正相關	負相關
被檢索到	18	0
未被檢索到	2	20

所得的三個評估數值 Accuracy =95%、Precision=100%、Recall = 90%。

## 第六章、結論與未來展望

### 6.1 結論

本論文提出一套針對嬰兒設計的音樂互動與監控系統，選擇嵌入式開發環境，使系統更具輕巧等優點。在監控方面，使用熱像儀與聲音感測器主動監測、紀錄嬰兒是否處於翻身、發燒或哭泣的狀態，透過APP通知家長，且給予即時視訊，以減少發生意外的機會。而音樂互動方面，使用熱像圖處理後所得的手腳位置變化量作為互動基礎，改變樂曲音量、音調、快慢與樂器種類，讓嬰兒可以探索音樂與動作間的關係，藉此鼓勵其舞動手腳。

### 6.2 未來展望

本論文雖然使用熱像儀來減少一般使用 RGB 影像濾出人體必經的繁複運算，但熱像亦有其缺點存在，例如時常有人體胸口溫度高於腳的溫度的情況，所以無法完整找到四肢，且系統尚未解決手腳交叉的情況，大大減少了系統的可用性，也許在未來，可以加入更聰明的演算法來更精確的獲得手腳的位置。

另一方面，對於嬰兒互動遊戲的設計，現階段只有使用音樂互動，未來如能加入聲光效果，也許能使玩法更加多元且多變。



## 參考文獻

- [1] 媽媽育兒百科：嬰兒發展，讓寶寶聽音樂好處. [Online]. Available:  
<http://mombaby.tw/article14192.html>. [Accessed: 06-Jul-2015].
- [2] Babies' brains benefit from music lessons, even before they can walk and talk. [Online]. Available:  
<http://www.sciencedaily.com/releases/2012/05/120509123653.htm>.
- [3] 媽媽育兒百科：嬰兒聽音樂 幫助成長和發育. [Online]. Available:  
<http://mombaby.tw/article14403.html>. [Accessed: 06-Jul-2015].
- [4] K. Portmann, "Die tragzeiten der primaten und die dauer die schwangerschaft beim menschen : ein problem vergleichen biologie,." *Review of Swiss Zoology*, pp.511-518,1941.
- [5] John Oates 著，邱維珍譯，「兒童發展導論」，五南圖書出版有限公司，民國八十八年。
- [6] 陳文德，「如何激發幼兒潛能；零到六歲幼兒的智慧教育啟蒙」，遠流出版社，民國九十二年。
- [7] 信誼：大腦上網路啦！～嬰兒心智發展與學習。 [Online]. Available:  
[http://parent.kimy.com.tw/new/arTicle.aspx?g\\_id=2&id=1481](http://parent.kimy.com.tw/new/arTicle.aspx?g_id=2&id=1481).

- [8] R. P. Huttenlocher, "Synaptic density in human frontal cortex-developmental changes and effects of ageing," *Brain Res.*, vol. 195–205, 1979.
- [9] 楊明道, 「0~1 歲嬰兒發展指標」, 嬰兒與母親, 民國九十五年。
- [10] 育兒百科 - 促進探索行為的 4 條錦囊妙計。 [Online]. Available: <http://baby.lifepedia.net/view/4874/>.
- [11] Amazon : iBaby Monitor M6 HD Wi-Fi Wireless Digital Baby Video Camera with 360 Rotation, Night Vision, Two-way Speakers and Music Player for iPhone and Android, White. [Online]. Available: [http://www.amazon.com/iBaby-M6-Wireless-Rotation-Speakers/dp/B00N0OKGBG/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1438575108&sr=8-1&keywords=ibaby](http://www.amazon.com/iBaby-M6-Wireless-Rotation-Speakers/dp/B00N0OKGBG/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1438575108&sr=8-1&keywords=ibaby). [Accessed: 03-Aug-2015].
- [12] Amazon : Withings Smart Baby Monitor. [Online]. Available: [http://www.amazon.com/Withings-Smart-Baby-Monitor-White/dp/B0069JBKHI/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1436738561&sr=8-1&keywords=Withings+Smart+Baby+Monitor&pebp=1436738589831&perid=0CH3171PXXKX85TJS6T6W](http://www.amazon.com/Withings-Smart-Baby-Monitor-White/dp/B0069JBKHI/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1436738561&sr=8-1&keywords=Withings+Smart+Baby+Monitor&pebp=1436738589831&perid=0CH3171PXXKX85TJS6T6W). [Accessed: 13-Jul-2015].
- [13] Amazon : Angelcare Video, Movement and Sound Monitor, Gray/white. [Online]. Available: [http://www.amazon.com/Angelcare-Video-Movement-Sound-Monitor/dp/B0061PIHOE/ref=sr\\_1\\_2?s=baby-products&ie=UTF8&qid=143](http://www.amazon.com/Angelcare-Video-Movement-Sound-Monitor/dp/B0061PIHOE/ref=sr_1_2?s=baby-products&ie=UTF8&qid=143)

6706022&sr=1-2&keywords=angelcare&pebp=1436706051750&perid=08Y313AV8ZQGBKBNB1HS. [Accessed: 06-Jul-2015].

- [14] Amazon : Fosbaby Digital Video Baby Monitor by Foscam. [Online].

Available:

[http://www.amazon.com/Fosbaby-Digital-Video-Monitor-Foscam/dp/B00P2YN43E/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1436738409&sr=8-1&keywords=Fosbaby+Digital+Video+Baby+Monitor&pebp=1436738470596&perid=05NTGG8APZ74FAMT2Q5H](http://www.amazon.com/Fosbaby-Digital-Video-Monitor-Foscam/dp/B00P2YN43E/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1436738409&sr=8-1&keywords=Fosbaby+Digital+Video+Baby+Monitor&pebp=1436738470596&perid=05NTGG8APZ74FAMT2Q5H). [Accessed: 13-Jul-2015].

- [15] Amazon : Foscam FBM3502 Digital Video Baby Monitor, Auto

Motion Tracking, White/Blue. [Online]. Available:

[http://www.amazon.com/Foscam-FBM3502-Digital-Monitor-Tracking/dp/B00O4F2I2U/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1438314121&sr=8-1&keywords=Foscam+FBM3502+Digital+Video+Baby+Monitor](http://www.amazon.com/Foscam-FBM3502-Digital-Monitor-Tracking/dp/B00O4F2I2U/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1438314121&sr=8-1&keywords=Foscam+FBM3502+Digital+Video+Baby+Monitor). [Accessed: 31-Jul-2015].

- [16] Amazon : Cyber-Bay Intelligent Mini Baby Monitor - Play Lullabies,

Temperature + Humidity Control, Support iOS + Android Devices.

[Online]. Available:

[http://www.amazon.com/Cyber-Bay-Intelligent-Mini-Baby-Monitor/dp/B00X9IYORU/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1438313798&sr=8-1&keywords=Cyber-Bay+Intelligent+Mini+Baby+Monitor](http://www.amazon.com/Cyber-Bay-Intelligent-Mini-Baby-Monitor/dp/B00X9IYORU/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1438313798&sr=8-1&keywords=Cyber-Bay+Intelligent+Mini+Baby+Monitor). [Accessed: 31-Jul-2015].

- [17] Amazon : Motorola MBP8 Digital Audio Monitor. [Online]. Available:  
[http://www.amazon.com/Motorola-MBP8-Digital-Audio-Monitor/dp/B0057NDIAY/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1438313863&sr=8-1&keywords=Motorola+MBP8+Digital+Audio+Monitor](http://www.amazon.com/Motorola-MBP8-Digital-Audio-Monitor/dp/B0057NDIAY/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1438313863&sr=8-1&keywords=Motorola+MBP8+Digital+Audio+Monitor). [Accessed: 31-Jul-2015].
- [18] Amazon : Motorola MBP36S Remote Wireless Video Baby Monitor with 3.5-Inch Color LCD Screen, Remote Camera Pan, Tilt, and Zoom. [Online]. Available:  
[http://www.amazon.com/Motorola-MBP36S-Wireless-Monitor-3-5-Inch/dp/B00M2F0OYS/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1438313941&sr=8-1&keywords=Motorola+MBP36S+Remote+Wireless+Video+Baby+Monitor](http://www.amazon.com/Motorola-MBP36S-Wireless-Monitor-3-5-Inch/dp/B00M2F0OYS/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1438313941&sr=8-1&keywords=Motorola+MBP36S+Remote+Wireless+Video+Baby+Monitor). [Accessed: 31-Jul-2015].
- [19] Amazon : Gynoi WiFi Wireless Video Baby Monitor with HD Infrared Night Vision, Two Way Audio and Time-Lapse for iPhone, iPad, Android Phones and tablets. [Online]. Available:  
[http://www.amazon.com/Gynoi-Wireless-Monitor-Infrared-Time-Lapse/dp/B00PEJ9JC2/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1438314031&sr=8-1&keywords=Gynoi+WiFi+Wireless+Video+Baby+Monitor](http://www.amazon.com/Gynoi-Wireless-Monitor-Infrared-Time-Lapse/dp/B00PEJ9JC2/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1438314031&sr=8-1&keywords=Gynoi+WiFi+Wireless+Video+Baby+Monitor). [Accessed: 31-Jul-2015].
- [20] Amazon : Angelcare Video, Movement and Sound Monitor. [Online]. Available:  
<http://www.amazon.com/Angelcare-Video-Movement-Sound-Monitor>

r/dp/B0061PIHOE/ref=sr\_1\_1?ie=UTF8&qid=1436738637&sr=8-1  
&keywords=Angelcare+Video%2C+Movement+and+Sound+Monito  
r&pebp=1436738665452&perid=0WHH3YEYXD8H7ZFWNH9.  
[Accessed: 13-Jul-2015].

- [21] Amazon : Snuz Baby Monitor, Hero. [Online]. Available:  
[http://www.amazon.com/Snuza-ILSHER-Baby-Monitor-Hero/dp/B008OJ7C6Y/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1438314222&sr=8-1&keywords=Snuz+Baby+Monitor%2C+Hero](http://www.amazon.com/Snuza-ILSHER-Baby-Monitor-Hero/dp/B008OJ7C6Y/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1438314222&sr=8-1&keywords=Snuz+Baby+Monitor%2C+Hero). [Accessed: 31-Jul-2015].
- [22] Amazon : iBaby Monitor M6 HD Wi-Fi Wireless Digital Baby Video Camera with 360 Rotation, Night Vision, Two-way Speakers and Music Player for iPhone and Android, White. [Online]. Available:  
[http://www.amazon.com/iBaby-M6-Wireless-Rotation-Speakers/dp/B00N0OKGBG/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1438314281&sr=8-1&keywords=iBaby+Monitor+M6](http://www.amazon.com/iBaby-M6-Wireless-Rotation-Speakers/dp/B00N0OKGBG/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1438314281&sr=8-1&keywords=iBaby+Monitor+M6). [Accessed: 31-Jul-2015].
- [23] 林志杰，「新版 MIDI 玩家手冊」，第三波出版社，民國八十三年。
- [24] 宋文舉，台北榮總兒童醫學部：嬰兒猝死症 [Online]. Available:  
<http://homepage.vghtpe.gov.tw/~ped/newpage32.htm>. [Accessed: 13-Jul-2015].
- [25] J. Bhatt, N. Da, V. Lobo, and G. Bebis, “Automatic Recognition of a Baby Gesture,” pp. 1–6, 2003.

- [26] C. F. Juang, C. M. Chang, J. R. Wu, and D. Lee, "Computer Vision-Based Human Body Segmentation and Posture Estimation," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part A Systems Humans*, vol. 39, no. 1, pp. 119–133, 2008.
- [27] H. Fujiyoshi and a. J. Lipton, "Real-time human motion analysis by image skeletonization," *4th IEEE Work. Appl. Comput. Vision. WACV'98 (Cat. No.98EX201)*, pp. 15–21, 1998.
- [28] 邵柏潤，「以肢體動作分析為基礎之新生兒意外監控系統」，國立臺灣師範大學資訊工程研究所碩士論文，民國九十八年。
- [29] 蕭宛甄，「以前景物動態機率模型為基礎之嬰兒危險程度評估系統」，國立臺灣師範大學資訊工程研究所碩士論文，民國九十九年。
- [30] 林漢威，「以表情辨識為基礎之嬰兒意外監控系統」，國立臺灣師範大學資訊工程研究所碩士論文，民國九十八年。
- [31] Raspberry Pi 台灣樹莓派 [Online]. Available: <http://www.raspberrypi.com.tw/>. [Accessed: 07-Jul-2015].
- [32] 維基百科：樹莓派. [Online]. Available: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%A0%91%E8%8E%93%E6%B4%BE>. [Accessed: 07-Jul-2015].

- [33] PureEngineering : Lepton. [Online]. Available:  
<http://www.pureengineering.com/projects/lepton>. [Accessed:  
07-Jul-2015].
- [34] FLIR Lepton Data Brief. [Online]. Available:  
[http://www.flir.com/uploadedFiles/CVS\\_Americas/Cores\\_and\\_Components\\_NEW/Products/Uncooled\\_Cores/Lepton/FLIR-Lepton-DatBrief.pdf](http://www.flir.com/uploadedFiles/CVS_Americas/Cores_and_Components_NEW/Products/Uncooled_Cores/Lepton/FLIR-Lepton-DatBrief.pdf) [Accessed: 06-Jul-2015].
- [35] LEGO Engineering : NXT sensors [Online]. Available:  
<http://www.legoengineering.com/nxt-sensors/>. [Accessed:  
06-Jul-2015].
- [36] NXT plugs crimping tool. [Online]. Available:  
<http://www.philohome.com/crimp/crimp.htm>. [Accessed:  
06-Jul-2015].
- [37] instructables : Using NXT Components with a Micro Controller.  
[Online]. Available:  
<http://www.instructables.com/id/How-to-use-LEGO-NXT-sensors-and-motors-with-a-non-/step4/The-Sound-Sensor/>. [Accessed:  
06-Jul-2015].
- [38] Jose Pino's Projects & Tidbits : Hacking the LEGO NXT. [Online].  
Available: [http://josepino.com/robots/hacking\\_lego\\_nxt](http://josepino.com/robots/hacking_lego_nxt). [Accessed:  
06-Jul-2015].

- [39] Raspberry Pi 筆記(二十)：MCP3008 讀取類比訊號測溫度.  
[Online]. Available:  
<http://atceiling.blogspot.tw/2014/04/raspberry-pi-mcp3008.html#.VaQomflsFBc>. [Accessed: 13-Jul-2015].
- [40] adafruit：MCP3008 - 8-CHANNEL 10-BIT ADC WITH SPI  
INTERFACE. [Online]. Available:  
<https://www.adafruit.com/products/856>. [Accessed: 13-Jul-2015].
- [41] M. Hu, S. Worrall, a H. Sadka, and a a Kondo, “Face feature  
detection and model design for 2D scalable model-based video  
coding,” *Int. Conf. Vis. Inf. Eng. VIE 2003 Ideas Appl. Exp.*, vol.  
2003, no. 1, pp. 125–128, 2003.
- [42] Amazon：Snuza Hero Baby Movement Monitor. [Online]. Available:  
<http://www.amazon.com/Snuza-Hero-Baby-Movement-Monitor/dp/B002ITOC7S>. [Accessed: 06-Jul-2015].