

2018 Synopsys ARC Contest

競賽題目：Smartly Saving Power System of 3D Remote Interaction using Human Body Tracking based on Depth Images.

參賽單位：成功大學

隊伍名稱：長尾斑馬神仙魚

指導老師：謝明得 老師

參賽隊員：李季穎, 廖登峰, 劉子瑄

完成時間：2018 年 05 月 18 日

基本資料表

隊伍名稱	長尾斑馬神仙魚		學校名稱	成功大學	
作品主題	Smartly Saving Power System of 3D Remote Interaction using Human Body Tracking based on Depth Images.				
項目負責人	李季穎		E-Mail	jyli@vlsilab.ee.ncku.edu.tw	
電話	0983338792		學校科系級別	成功大學電機所	
指導教授	謝明得		教授 E-Mail	shiehm@mail.ncku.edu.tw	
參賽隊員	姓名	目前學歷	身分證號碼	專業	分工
	李季穎	研究所	E124730626	電機	資料傳輸、系統設計
	廖登峰	研究所	F129565844	電機	應用情境
	劉子瑄	研究所	J222749374	電機	演算法實現
隊伍簡介	成功大學電機所 VLSILAB，成員皆為碩士生，在研究主體與本次競賽的目標相符合下組隊參賽。				
參賽項目	2018 Synopsys ARC 盃 海峽兩岸電子設計大賽				
曾獲獎紀錄	2016 Morsensor 無線感測積木創意應用設計競賽 佳作				
研究專長	Computer vision、SLAM、Deep learning、VLSI design				

參賽者簽名或蓋章	李季穎	身分證字號	E124730626
連絡電話	0983338792	電子郵件信箱	jyli@vlsilab.ee.ncku.edu.tw
通訊地址	高雄市楠梓區享平里 13 鄰岳陽街 27 號 15 樓之二		
			
參賽者簽名或蓋章	劉子瑄	身分證字號	J222749374
連絡電話	0988015910	電子郵件信箱	t41622@gmail.com
通訊地址	新北市板橋區文華街 32 號 2 樓		

			
參賽者簽名或蓋章	廖登峰	身分證字號	F129565844
連絡電話	0960587263	電子郵件信箱	dfl@vlsilab.ee.ncku.edu.tw
通訊地址	新北市板橋區華貴里 2 鄰貴興路 51 號 4 樓		
			

注意事項：

- 參賽者同意主辦單位得將其參賽作品予以公開發表、重製、公開播送、公開展示、重新編輯、出版等非商業用途之實施，且參賽者不得對於上述實施要求任何形式之報償。
- 參賽者擔保為參賽作品之著作權人，並同意主辦單位擁有該參賽作品之公開發表、重製、公開播送、公開展示、重新編輯與出版等使用於學術或推廣教育之權利。若有因該參賽作品而引起智慧財產糾紛、訴訟等，均由參賽者全權負責。
- 參賽者同意主辦單位得將其個人資料及其相關參賽作品納為「通訊大賽創意機制媒合人才資料庫」之用。

目 錄

基本情況表.....	錯誤! 尚未定義書籤。
摘 要	iii
ABSTRACT	2
目 錄	錯誤! 尚未定義書籤。
第一章 方案論證	1
1.1 項目概述	3
1.2 資源評估	4
1.3 預期結果	5
1.4 項目實施評估	7
1.5 補充說明	錯誤! 尚未定義書籤。
第二章 作品難點與創新	9
2.1 作品難點與創新	9
2.2 創新性分析	10
2.3 小結	10
第三章 系統結構與硬體設計	12
3.1 系統原理分析	12
3.2 系統結構	13
3.3 硬體設計	13
3.4 小結	13
第四章 軟體設計流程	錯誤! 尚未定義書籤。
4.1 軟體設計流程	錯誤! 尚未定義書籤。
4.2 軟體實現	錯誤! 尚未定義書籤。
4.2.1 算法一	錯誤! 尚未定義書籤。
4.2.2 算法二	錯誤! 尚未定義書籤。

4.2.3 算法三.....	錯誤! 尚未定義書籤。
4.3 小結	錯誤! 尚未定義書籤。
第五章 系統測試與分析	16
5.1 系統測試指標.....	16
5.2 測試環境	16
5.2.1 驗證開發與平台	16
5.2.2 測試方案.....	16
5.3 測試結果	17
5.3.1 功能測試.....	17
5.3.2 指標測試.....	錯誤! 尚未定義書籤。
5.3 结果分析	錯誤! 尚未定義書籤。
第六章 總結.....	19
参考來源	錯誤! 尚未定義書籤。

摘 要

在現今視訊應用中，依然以 2D 平面影像為大宗，但是平面影像不僅帶來距離感也限制雙方互動的自由度。我們希望能打破銀幕的限制，讓 2D 化為 3D，讓天涯化為咫尺，開創全新的互動模式。

基於這個願景，我們建構了一個 Smartly Saving Power System of 3D Remote Interaction using Human Body Tracking based on Depth Image 的產品。藉由 ARC EM Starter Kit (EMSK) 超低功耗的特性，實現即時遠端 3D 人體互動系統。本專案的核心分為兩個部分，一為前端低功耗的 always-on system (AOS)，二為後端高功耗的人體骨架計算。當使用者發出的請求，一直為啟動狀態(always-on) 的 AOS 會去啟動 3D 攝影機捕捉人物的影像，由網路將影像在另一個空間投放出來，使用者只要配戴 HoloLens 或手機等顯示裝置就能看到虛擬全息影像，如同真人在現場般與對方對話、互動，將科幻電影的場景搬到現實生活。

除了有趣的情境體驗，本系統前端所實作的 AOS 低功耗伺服器，在現今追求降低耗電量的各式電子產品也能獲得廣泛的應用中，極具競爭優勢。未來也能無縫接軌成為 IoT 智慧家電的視訊相關家電，為人與人互動的模式，開創新扉頁。

ABSTRACT

In current video applications, 2D plane images are still the bulk, but 2D images not only bring a sense of distance but also limit the freedom of interaction between the two people. We hope to break the restrictions of the screen, turn image from 2D into 3D, and create a new interactive mode.

Based on this vision, we have a product named Smartly Saving Power System of 3D Remote Interaction using Human Body Tracking based on Depth Image. With the ultra-low power consumption of the ARC EM Starter Kit (EMSK), an instant remote 3D human body interaction system is realized. The core of this project is divided into two parts, one is the always-on system (AOS) in the front-end with low-power consumption, and the second is the human skeleton calculation of the back-end with high-power consumption. When the user sends a request, the always-on AOS will start the 3D camera to capture the image of the character, and the network will put the image in another space. The user only needs to use a HoloLens or mobile phone, the 3D model will do the same action with sender. The device will be able to see the virtual holographic image, as real people in the scene like the dialogue and interaction with each other, the scene of science fiction movies moved to real life.

In addition to the interesting situational experience, the AOS low-power system can be widely used in various electronic products that are currently seeking to reduce power consumption. In the future, our product can become a video-related home appliance for IoT smart home and create a new page for people-to-person interaction.

Keywords: 3D Remote Interaction, always on sensor system, Skeleton detection

第一章 方案論證

1.1 專案概述

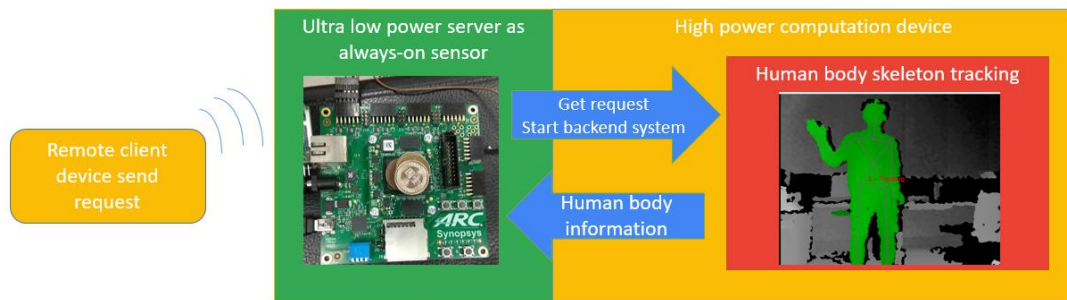
本專案為一 Smartly Saving Power System of 3D Remote Interaction using Human Body Tracking based on Depth Image 的產品。以大眾娛樂為主要對象，藉由 ARC EM Starter Kit (EMSK) 超低功耗的特性，實現即時遠端 3D (Three Dimensional, 3D) 人體互動系統。

整個系統分為兩個部分，一為前端低功耗的 always-on system (AOS)，二為後端高功耗的人體骨架計算。當使用者發出的請求，一直為啟動狀態(always-on) 的低功耗的 AOS 會去啟動 3D 攝影機捕捉人物的影像，經由 Real-time 骨架偵測的演算法，由網路將影像在另一個空間以 1:1 的比例投放出來，使用者只要配戴 HoloLens 或手機等顯示裝置就能看到虛擬全息影像，如同真人在現場般與對方對話、互動，將科幻電影的場景搬到現實生活。

數位化的革命不僅帶來電腦和智慧手機產業的蓬勃發展，3D 視訊的應用也成為一門百家爭鳴的顯學，快速崛起的跨時代產業。隨著顯示技術的進步，3D 視訊系統研究也由早期的二元立體視訊系統過渡到多視點視訊系統，再到目前以多視點加深度的自由視點視訊系統為主要的研究。目前人手一機的是智能手機，照目前科技發展的趨勢，相信在不久的將來，頭戴式裝置(例如 AR、VR 眼鏡)或許也是人手一台。

我們動機很單純” Make life incredible”。因為和家人朋友分隔兩地，晚上視訊時總是看到屏幕中充滿疏離感的 2D 影像，我們希望能打破銀幕的限制，讓 2D 化為 3D，讓天涯化為咫尺。基於這個大目標，我們利用現階段成熟的 3D 視訊系統，結合 EMSK 低功耗的優點，實現一個簡易版的 3D 視訊系統。

就像我們說把大象放進冰箱裏分三步驟：開啟冰箱，把大象放進去，關上冰箱。我們實現 AR 的視訊系統也分為三步驟，依序為實現 AR、實現視訊系統，然後把它兩個結合起來。



上圖為本專案的核心三部分，當使用者對 AOS 發出請求，AOS 才會開啟後端高功耗的人體計算系統，利用深度影像結合人體骨架偵測演算法，偵測關節位置和角度，即時求得當下人體骨架的姿勢訊息，再利用 EMSK 的網路系統，透過 WIFI 或網路線傳送到遠端的顯示裝置上。使用者只要配戴 HoloLens 就能在另一個空間以 1:1 的比例看到即時的 3D 互動模型，近而達到肢體和心靈上的互動。

為了增加使用者體驗的樂趣性，在遠端顯示裝置的視訊系統中，我們建構出多樣的人型模型，供使用者可以依據心情喜好選擇。骨架資訊和人型模型的結合，能為 3D 視訊增加更多的互動情境，開創更多彩的生活模式。

我們的目標是要將學界最新成果帶出實驗室，讓更多人體會 3D 互動視訊的美好。做為智能穿戴，對於功率消耗就需要斤斤計較，因為系統必須隨時保持運行，若讓深度相機一直保持開啟狀態是很消耗功率的，故我們利用 EMSK 超低功耗的特性，實踐一個啟動後端的 always-on system (AOS)，做為後端人體骨架系統的開關，近而達到智慧省電的目的。

我們分析 ARC 主要的領域是用於智慧家庭的部分。在這個萬物皆可連得物聯網(IoT)時代，我們可以輕易地利用網路，遠端控制家庭中的所有家電，像是智慧電燈、智慧電視等等，而我們的產品也可以和智慧家庭做結合，利用平常低功耗的 AOS，開啟遠端互動系統，進而達到智慧 3D 視訊的願景，為智慧家庭增添更多的喜悅與歡樂。

1.2 資源評估

簡易的資料流如下，我們用 EMSK 實踐 AOS，偵測到使用者的請求後，開啟相機模組(深度相機+轉接器)得到影像資訊，經由即時骨架偵測演算法獲取骨

架資訊，最後利用 WIFI 模組將人體骨架資訊傳給遠端顯示裝置。故我們需要的資源如下

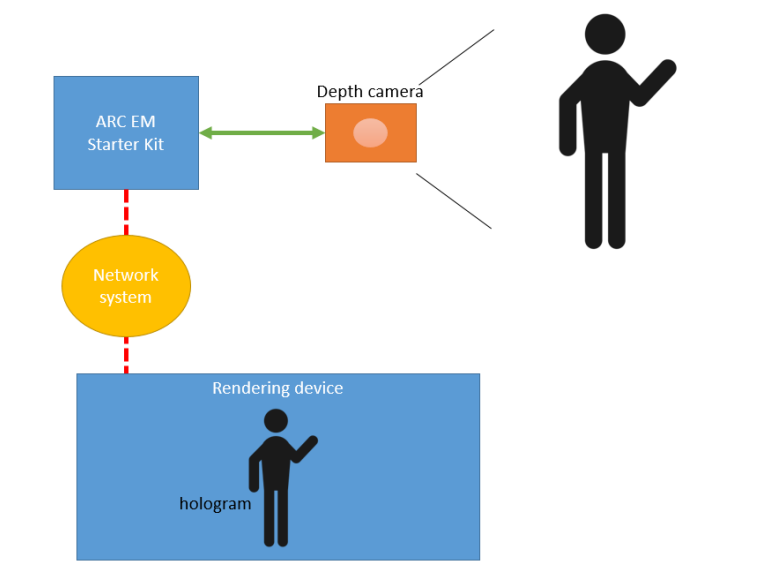


如上圖所示，依序為:

1. EMSK
2. EMSK 與遠端顯示裝置通訊方式:WIFI 模組
3. 相機模組(深度相機+轉接器)
4. 遠端顯示裝置

因為 EMSK 在整個 3D 互動系統中為一承先啟後的關鍵: 低功耗的 AOS，其能智慧地決定是否開啟後端需較高功耗的人體骨架追蹤系統，故整體對於 ARC 處理運算率是非常可觀的。而資源評估的第三點和第四點(相機模組和顯示裝置)，是為了作品演示需要，現階段利用實驗室既有的財產組件起來的，使用者可以依照手邊的資源去替換，故利用灰色底特別註明。

1.3 預期結果



1. 系統描述

使用者對 AOS 發出請求，ARCEM 接受請求後開啟後端系統，啟動深度相機開始偵測深度影像，再利用即時骨架偵測演算法回傳骨架資訊。最後 AOS 將後端系統的回傳的骨架資訊，利用 Wi-Fi 網路模組回傳至遠端顯示裝置，完成 3D 視訊互動。

2. 使用環境描述

針對智慧生活為目標，我們希望藉由這套系統，為視訊情境賦予生命和創造力，開啟新的溝通模式。我們可以想像台灣的你和遠在美國的親戚做視訊時，使用本產品後，你將體驗前所未有的臨場感。視訊所呈現的不再是螢幕上的 2D 影像，取而代之的為活生生的 3D 模型。根據你當下的動作，3D 模型也同步更新，宛如鏡中的你。假如你想向親戚演示一段苦練已久的舞蹈，只要藉由本產品，戴上顯示裝置，親戚就能即時一睹你跳舞的風采，讓天涯化為咫尺。

3. 低功耗與智慧家電

物聯網(IoT)的興起也帶動智慧家電的蓬勃發展。物連網藉由嵌入式微處理器(MPU)以及有線或無線網路，讓這些物件能夠自主感知周圍環境，與其他物件進行溝通，並透過網路相關服務和雲端應用產生互動。在物聯網的應用環境中，每天與人互動的智慧型電子裝置在要求運算表現的同時，還必須維持最低功耗，讓其擁有更長的電池續航力，達到智慧省電的目的。故低功耗在 MPU 中扮演不可或缺的元素。

我們的產品主打低功耗智慧省電 3D 視訊系統，藉由 always-on system (AOS) 的設計，利用低功耗的特性擔任整個系統指揮官的角色，等待使用者發出訊號後，才開啟後端需要耗費較高功耗的系統，進而達到智慧省電的目的

4. 效能指標

針對我們產品定位，重要指標應為：

1. 功耗: 愈低愈好
2. 價格: 愈低愈好

功耗部分由我們系統使用主打低功耗的 EMSK 開發。若產品實際化，系統將有一個主 IC，搭配周邊相機與顯示裝置。而主 IC 包含一個 ARM EM 系列 IP 以及一個 ESP8266 低功耗的 Wi-Fi 晶片。若用主流製成，ARC IP 的功耗極小，整體的功耗主要來自於 Wi-Fi 模組上面。為了達到 Ultra low power 的目的，我們選擇以超低耗能技術著稱的 ESP8266 Wi-Fi 晶片，且 ESP8266 Wi-Fi 晶片擁有業內極富競爭力的封裝尺寸，專為移動裝備和物聯網應用設計，故我們的主 IC 不只低耗能且尺寸也能做到非常小，極具市場淺力。

1.4 專案實施評估

智慧省電 3D 互動系統的實踐。我們產品的定位是在智慧家庭，故本產品需隨時等待使用者的訊號，故低功耗是我們產品的首要考量。我們利用 ARM EM 系列的低功耗晶片擔任本專案的核心: always-on system (AOS)，其能無時無刻等待使用者的訊號，當訊號發出，AOS 就能開啟後端骨架偵測的系統，完成智慧省電 3D 互動系統。

人體骨架追蹤演算法。被 AOS 觸發而啟動的深度相機即時拍攝深度影像，而人體骨架追蹤演算法能對其進行影像處理，即時偵測人體關節的位置和角度，萃取骨架資訊，讓使用者舉手投足之間能被同步偵測與更新。

人體骨架資訊傳輸。骨架的傳輸分為兩個面向討論，一為將萃取的即時骨架資訊傳送至 EMSK 上，二為讓 AOS 能和其他物件溝通，達到同步顯示的目的。針對第一個面向，我們利用 UART 和後端骨架裝置做溝通和傳輸。而第二個面向，我們實踐一個 EMSK 與遠端顯示裝置的通訊 socket 程式，利用 Wi-Fi 當作媒介，即時傳送到顯示裝置上，達到 3D 視訊互動的目的。

遠端顯示裝置環境的建構。遠端顯示裝置接受 AOS 傳送的即時骨架資訊後，結合我們演示時的應用程式，給予使用者多樣且刺激的臨場感受。遠端應用程式包括人體骨架與人體模型的堆疊和演示情境等面向，我們現階段建構一個人體 3D 模型，能根據 EMSK 傳送的骨架資訊，和 3D 模型進行關節的堆疊，使模型能和傳送方同步動作，讓雙方能即時互動，開啟視訊的新篇章。未來我們將建構多樣化的人體互動 3D 模型，供使用者選擇，為 3D 視訊增添更精采的元素。

在實踐專案的過程中，針對資訊傳輸、環境建構和骨架偵測的部分，我們針對 ESP8266 Wi-Fi 模組進行韌體的更新，並依照我們的需求客製化一個 ESP8266 和 EMSK 傳輸的驅動程式，讓智慧 AOS 人體模擬系統和遠端顯示裝置的傳輸更穩定和快速。在遠端環境建構，我們除了開發演示時的應用程式，還建構一個多關節的 3D 人體模型，讓此模型能依據我們各關節的骨架資訊，達到更優秀的使用者體驗。

已完成:

1. 實驗環境與相關硬體架構
 - 遠端顯示應用程式和 3D 人體模型
 - Wi-Fi 模組和 EMSK 之間的驅動程式
 - 後端骨架資訊和 EMSK 間溝程式
2. 演算法實踐與驗證
 - 即時骨架偵測演算法

待完成:

1. 遠端顯示應用程式的優化與 3D 人體模型的多樣性
2. 使用者適應本產品的 UI 設計

第二章 新作品難點與創新

2.1 作品難點分析

本專案: Smartly Saving Power System of 3D Remote Interaction using Human Body Tracking based on Depth Image，需要整合跨平台且龐大的系統，每個步驟都有相對應的難點，分為以下四點

1. 人體骨架偵測系統演算法。

- 難點: 如何使用便利且熱門的機器人軟體框架: robot operating system(ROS)去得到深度相機與人骨架結果。

2. 骨架資訊傳送至 ESMK

- 難點: 獲得經由演算法萃取的骨架資訊，如何將 PC 上的資訊傳入 ESMK 也是另一個挑戰。
- 解法: 因為 ESMK 無支援 USB 的介面，故我們利用 libusb 實作一個 PC 端的應用程式，透過 USB 介面將取得的資料寫入「USB 轉 TTL Serial 介面」ftdi 晶片上，並傳送至 ESMK 的 uart

3. 骨架資訊傳送至遠端顯示器

- 難點: 接收經由 ftdi 晶片傳送至 ESMK 的骨架資訊後，如何傳送至遠端的顯示裝置抑是一個棘手的問題。
- 解法: 我們實做一個 driver 和 TCP socket server。利用 ESP8266 WIFI 模組，將骨架傳入遠端顯示器。與此同時我們也提供一個 ESP8266 driver 的範例，能增添至 ESMK 的範例中，供後續開發者參考。

4. 遠端接收裝置與環境的建立

- 難點: 人體骨架的各個關節，都有各自的坐標系，而遠端接收裝置(Client)的 Unity3D 與深度相機(Serve)的人體骨架偵測演算法的坐標系相反，故需要做右手坐標系到左手坐標系的轉換，且在 Unity 或 ROS 論壇幾乎沒有提供簡單明瞭的轉換方式。
- 解法: 現階段的遠端顯示裝置是利用實驗室的 HoloLens，而 Server 端(深度相機)和 Client 端(顯示裝置)之間坐標系轉換相反，在 AR 領域跨平台開發是非常常見的。基於這個顯示裝置，我們利用利用 3D 遊

戲引擎 Unity3D 與 C#來撰寫微軟通用平台的行動應用程式，實踐一個接受人體骨架的接收器和 3D 人體模型即時投影的可視化程式。

2.2 創新性分析

我們的應用，可看做 IoT 智慧家庭中的一個子集合，不像現階段常見的家電控制應用，我們提供了全新的智慧生活型態—3D 遠端互動。

和我們相類似的 3D 遠端互動系統，尚未有商業化的產品，故本專案是一極富創新性的產品。現階段 16 年微軟提出 3D 影像概念技術「Room2Room」，是利用深度相機的資訊，藉由多個投影機的投影，遠端和使用者互動。綜觀微軟的概念產品，其思考的面相現階段並不以嵌入式系統為考量，低功耗的因素亦不再其考慮的因素中。

我們以產品開發為目標，實現一個智慧省電的 3D 遠端互動系統，綜合成本和性能上差異的考量，若對所以深度相機的資訊傳輸，其運算的複雜度和傳輸的頻寬將極為龐大，故我們將資訊替換成骨架的資訊，減少傳輸的頻寬。為了克服人體骨架偵測所消耗的高功率，我們分析整體系統了解人體骨架偵測是屬於後端 Seldom-on 的裝置，故藉由系統前端 always-on 的 EMSK 低功耗伺服器，當有需求時才啟動後端的高功耗系統，以此來達到智慧省電的功效。

此外本專案的裝置以 3D 視訊為出發點，但應用不局限於視訊，考慮到肢體追蹤和互動在各類型應用接廣泛使用，我們的產品中骨架偵測部分和 always-on system (AOS)超低功耗的競爭力，預計其他都能在其他應用加速開發。

2.3 小結

本產品在使用情境上，提供了一個基於 EMSK 平台，實際去開發的熱門 AR/VR 應用。其賣點除了非常有趣的情境體驗，也能在未來無縫接軌成為 IoT 智慧家電的視訊相關家電，讓使用者在享受 IoT 方便的同時，也能體驗 AR/VR 的科技，為人與人互動的模式，開創璀璨的扉頁，極具市場熱度。

而本產品利用 EMSK 實作低功耗伺服器，在使用者有需求時才開啟後端高耗功系統，藉此來達到智慧省電的效果，此低功耗伺服器的產品在現今追求降低耗電量的各式電子產品將獲得廣泛的應用中，極具競爭優勢。

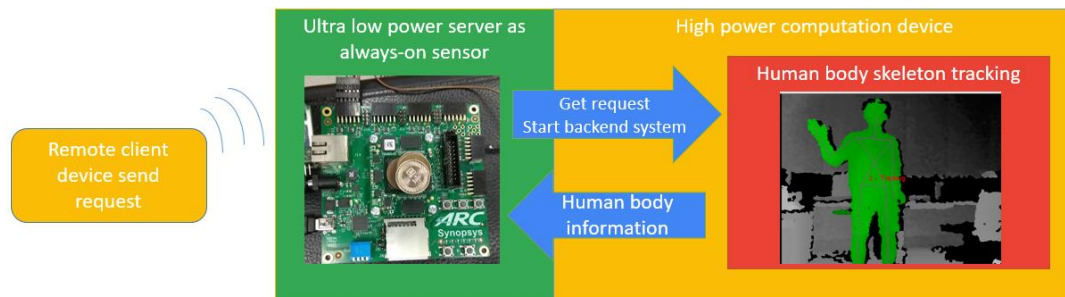
第三章 系統結構與硬體實現

3.1 系統原理分析

主要是要讓 EMSK 拿到深度相機拍到人體的深度影像資訊，然後在執行人體骨架追蹤的演算法，即時得到人體骨架資訊後，經由網路系統傳給遠端的顯示裝置，顯示裝置利用人體骨架資訊加上原本就已有的人體模型，就能夠遠端與另一名使用者做肢體上的互動。

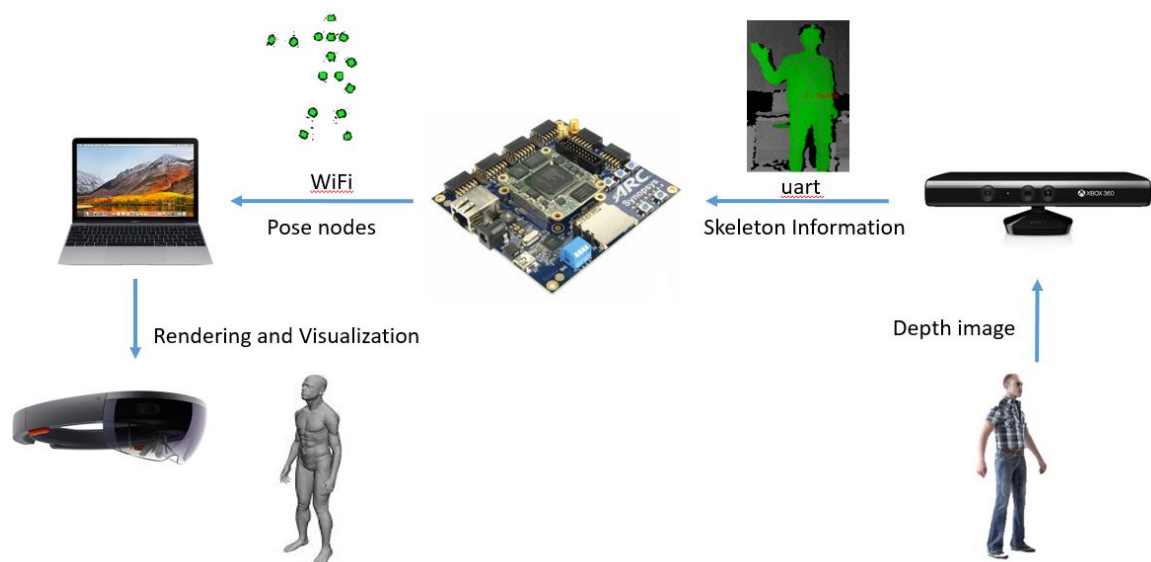
1. 深度相機是經由 USB 與處理器溝通，然而 EMSK 沒有 USB 的介面，因此會用有 USB 介面的開發板當作一個轉接器，讓影像資訊經由轉接器再送給 EMSK。這裡我們必須在轉接器上實作相機的驅動程式，並且實作與 EMSK 溝通的介面。
2. 因為 EMSK 的時脈不足以處理複雜的影像問題，所以必須將由電腦實驗骨架偵測演算法，並將結果經過 UART 傳回 EMSK，由 EMSK 處理簡易的資訊，如過濾不必要的點及將送往 client 的 buffer 整理好，確定傳輸過程沒有錯誤。
3. 遠端裝置為微軟的 HoloLens，HoloLens 是一個 AR 眼鏡，能夠在上面呈現全息影像，也具備作業系統，能像智慧型手機一樣開發應用程式。因此，我們會在遠端裝置上，實作一個接收遠端人體骨架訊息的接收器與將人體模型即時投影在眼鏡上的可視化程式。

3.2 系統結構



系統架構如上圖所示，USB camera accessor 向深度相機經由 USB cable 拿到 depth image data，再透過 UART 將 skeleton data 傳給 EMSK，EMSK 得到 human body skeleton data，並將此資訊透過網路傳給遠端的 rendering device，rendering device 會結合此資訊與 3D 人體模型，去顯示出另一名使用者的即時全息影像。

3.3 硬體實現



上圖是對應 3.2 中的圖實際所使用的裝置，遠端的 rendering device 為 Microsoft HoloLens、USB camera accessor 為 PC、depth camera 為 Microsoft Kinect。

3.4 小結

此章節與原先預期的成果有所出入，遇到最困難的問題是處理骨架的部分，我們在實作骨架演算法的過程中嚴重低估的骨架偵測的複雜度，其中最難解決的問題是 occlusion 造成的問題，因為人體的許多部位非常容易不小心被遮避到，如果不解決遮蔽的問題我們將無法做好骨架偵測，而目前現有的骨架偵測演算法多半是基於機器學習的技術，由於 EMSK 只是嵌入式系統，無法負擔機器學習所需要的處理量，因此我們退而求其次選擇使用 PC 來計算。

未來的目標希望能夠在決賽之前時做另一種偵測骨架的方式—IMU，利用多顆 IMU 來偵測身體部位的旋轉達到骨架偵測的效果。因為 IMU 的特性，此種方法預計能夠帶來更準確且低功耗的好處，也可以展現 EMSK 的專長，但由於 IMU 有平移不好估計的問題，截至目前為止仍然無法實現。

目前的版本在 latency 及準度上控制到不錯的程度，3D model 可以成功的被 render 到真實世界，且能夠準確地模仿使用者的動作，整個系統也可以穩定運作。網路傳輸、有線傳輸幾乎都快達到理想傳輸量，也能夠 real time 的運行。

第四章 軟體設計流程

4.1 軟體設計流程

我們作品軟體主要有三個部分，第一個部分試後端人體骨架追蹤，第二部分是 EMSK，最後試 AR 眼鏡上的行動應用程式。

第一部份:

使用深度影像資訊透過其相機驅動所附的中介軟體得到人體骨架中每個關節的坐標系，並透過 USB 寫入 FTDI 晶片將 USB 轉 UART。

第二部份:

EMSK 由 UART 取得人體骨架各個關節的坐標系，同時建好伺服器，當客戶端有要求時，並將骨架資訊傳給客戶端，讓客戶端加以應用。

第三部份:

客戶端在我們的作品中是使用了 HoloLens，所以我們在 HoloLens 上運行了我們自己寫的微軟通用平台行動應用程式，作為 Client，並取得人體骨架資訊，在將 3D 人體模型註冊(3D model registration)到人體骨架上，在這註冊的過程中，需要左右手坐標系的轉換，以下是左右手坐標系的差異，註冊完畢後，就看到虛擬 3D 人體模型做出跟遠端使用者一樣的動作。同時，我們在 DEMO 中還有支持兩種免費的人體模型，其中各個關節點的坐標系都已經校正好了。

4.3 小結

目前因為 EMSK 講求低功耗，因此我們都將運算大部分丟給後端的電腦運算，在使用過程中，EMSK 會專注於傳輸大量 real-time 的骨架資訊。另外考量未來會成為 IoT 家電的一環，特別不讓它占用過多系統資源。

第五章 系統測試與分析

5.1 系統測試單位

5.1.1 硬體

FTDI to EMSK: 經過連續讀寫十小時，線路接妥，穩定無問題

ESP8266: 經過連續數小時使用，線路接妥，穩定無問題

5.1.2 軟體

Skeleton 偵測演算法: 穩定無問題，要確保環境盡量不要雜亂以免誤判

Rendering 演算法: 穩定無問題

5.2 測試環境

5.2.1 驗證開發平臺

ARC 開發平台

1. OS: Linux Ubuntu 16.04
2. Tool chain: GNU
3. Environment: docker
4. OS: Linux Ubuntu 16.04

驗證平台

1. OS: Linux Ubuntu 16.04
2. OS: Linux Ubuntu 16.04

驗證開發平台我們採用 docker 虛擬環境，安裝 embARC GNU Tool Chain，逕行開發與驗證，可以確保環境不會被任意更動，docker 也供快速且方便的建構與備份方法。

5.2.2 測試方案

1. Software algorithms

A. 驗證 depth camera 是否可以正常被 driver 開啟、演算法是否能夠 source 到系統環境變數。

B. 驗證 client 是否可以正常開啟連線程式，包含網路連線、render 功能是否異常。

C. 驗證 EMSK 是否執行到對的版本，可否開啟 openocd driver。

2. EMSK connectivity

- A. 電路接妥後經由 UART 驗證骨架偵測的準確性。
- B. 驗證 WiFi module 功能及是否能夠被 client 連接。
- C. 驗證 client 是否能從 EMSK 收到正確的數值。
- D. 驗證 3D model 是否能正確被 render。

5.3 測試結果

5.3.1 功能測試

1. Pose 準確度

顯示骨架偵測系統及 ARC 接收到的數值，比較誤差。左圖為 Depth camera module detect 到的 skeleton 右邊為 arc 處理過後的對應 skeleton，因為 ARC 那邊無法直接 Print 出浮點數，所以我們將值乘以 1000 轉成 integer 輸出，因此右邊的值都要當成小數第三位看起。可以看到傳的值基本上沒有誤差。

1	0.998056	0.00818139	-0.0512732	0.0344588	998	8	-51	34
2	0.998056	0.00818139	-0.0512732	0.0344588	998	8	-51	34
3	0.998063	0.00573548	-0.0513594	0.0346323	998	5	-51	34
4	0.707106	-5.3438e-08	-4.43287e-08	0.707108	707	0	0	707
5	0.707043	-0.000316802	-0.000523952	0.70717	707	0	0	707
6	0	0	0	0.5	0	0	0	500
7	0.826892	-0.147338	0.139348	-0.524523	826	-147	139	-524
8	0.477976	0.161327	0.664509	-0.551308	477	161	664	-551
9	0	0	0	0.5	0	0	0	500
10	1	1.10488e-08	-2.81825e-09	-2.74881e-08	1000	0	0	0
11	1	6.71932e-05	-1.71071e-05	-0.000167646	1000	0	0	0
12	0	0	0	0.5	0	0	0	500
13	1	1.35881e-08	-5.35614e-10	-1.91613e-10	1000	0	0	0
14	1	6.42157e-05	-4.9138e-06	-1.12961e-06	1000	0	0	0
15	0	0	0	0.5	0	0	0	500

2. Rendering 準確度 (見 DEMO 影片)

3. Socket 傳輸速度測試

WiFi 實測速度 $2.46 \text{ kb} / 0.32 \text{ s} = 7.68 \text{ KB} / \text{sec}$

理論最高速度 $= 115200 / 8 = 14.4 \text{ KB} / \text{sec}$

我們每次傳 15 組旋轉資訊，加上 1 組平移資訊，皆為 float 格式，

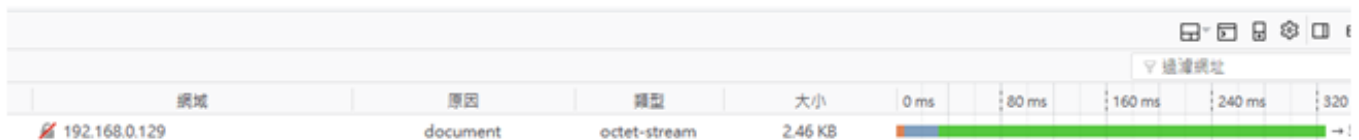
每組旋轉有 4 個像量， $\langle w, x, y, z \rangle$ 共 60 個數字，240 byte。

每組平移有 3 個像量， $\langle x, y, z \rangle$ 共 3 個數字，12 byte。

故每張 frame 共有 252 byte。

$7.68 * 1024 / 252 = 31.2$

大約剛好可以每秒 30 個 frame。



第六章 總 結

本專案為透過整合 FTDI 晶片、ARC EMSK、ESP8200 Wi-Fi 晶片，結合深度相機和人體骨架偵測演算法，實現智慧省電遠端 3D 人體互動系統(Smartly Saving Power System of 3D Remote Interaction using Human Body Tracking based on Depth Image)。

硬體部分，我們將 PC 計算的骨架資訊藉由 USB 介面將資料寫入 ftdi 晶片上，傳送至 EMSK 的 uart。並將傳入 EMSK 的資訊藉由 ESP8266 WIFI 模組，將骨架傳入遠端顯示器上。

軟體方面，第一部份，我們使用深度影像資訊透過其相機驅動所附的中介軟體得到人體骨架中每個關節點的坐標系，利用 libusb 實作一個 PC 端的應用程式，讓骨架資訊能藉由 FTDI 晶片傳至 EMSK。第二部分，在和遠端顯示器傳輸上，我們實做 driver 和 TCP socket server，利用 ESP8266 WIFI 模組傳輸。與此同時我們也提供一個 ESP8266 driver 的範例，能增添至 EMSK 的範例中，供後續開發者參考。第三部分是針對顯示器上應用環境的開發，我們實作一個接收遠端人體骨架訊息的接收器與將人體模型即時投影在眼鏡上的可視化程式，並克服深度相機和顯示器雙方坐標系相反的問題，讓骨架資訊能完美契合在 3D 人體模型上，達到絕佳的使用者體驗。

整個系統基於 EMSK 平台，透過 Wi-Fi 即可無限數據傳輸，開發 3D 互動的 AR 應用。除了有趣的情境體驗，未來也能無縫接軌成為 IoT 智慧家電的視訊相關家電，為人與人互動的模式，開創新扉頁。與此同時，本系統前端所實作的 AOS 低功耗伺服器，在現今追求降低耗電量的各式電子產品也能獲得廣泛的應用中，極具競爭優勢。