

簡易型 3D 掃描儀技術之研發及其運用

姚志佳
朝陽科技大學
資訊工程系
副教授
e-mail:
ccyao@cy
ut.edu.tw

施再繁
朝陽科技大學
資訊工程系
副教授
e-mail:
tfshih@cy
ut.edu.tw

簡君聿
朝陽科技大學
資訊工程系
學生
e-mail:
s10227004@cy
ut.edu.tw

劉家榮
朝陽科技大學
資訊工程系
學生
e-mail:
s10227024@cy
ut.edu.tw

賴明煊
朝陽科技大學
資訊工程系
學生
e-mail:
s10227042@cy
ut.edu.tw

摘要

近年來智慧行動終端產品強勢成長，逐漸取代原本以個人電腦為主的使用型態。如何以行動應用服務提升各產業的發展為目前以及未來之重點。

目前工具機的發展大致朝向"智慧型加工機"為主，尤其以智慧行動的終端設備，藉由無線或雲端遠端控制加工機的操作，以提高生產效率及便利性。此外，隨著 3D 掃描儀技術的蓬勃發展，使得 3D 掃描儀結合智慧型加工機成為未來必然之趨勢，然而，目前 3D 掃描儀售價十分昂貴，使得許多中小企業常因成本因素而放棄。3D 掃描儀之售價隨著掃描之精密度增加亦相對提高，然而大部分微型加工機業者之加工產品並不需要太高之精密度，為了能有效降低成本，且開發出適合微型加工機業者使用之掃描儀，本專題中將結合行動終端設備與影像處理之技術，以製造成本低廉之簡易型 3D 掃描儀，供微型加工機之業者使用。

關鍵詞：3D 掃描儀，智慧型設備，三維重建，輪廓法，電腦視覺

Abstract

In recent years, intelligent mobile terminal products strong growth, gradually replacing the original use of personal computer-based use patterns. How to mobile application services to enhance the development of various industries for the current and future focus.

At present, the development of the machine tool is generally oriented to the "intelligent processing machine", especially the intelligent operation of the terminal

equipment, wireless or cloud remote control processing machine operation, to improve production efficiency and convenience. In addition, with the rapid development of 3D scanner technology, making 3D scanner with intelligent processing machine for the inevitable trend of the future, but the current price of 3D scanner is very expensive, making many small and medium enterprises often because of cost factors to give up. 3D scanner with the scanning of the increase in the price of precision is also relatively increased, but most of the micro-processing machine industry's demand for its processed products do not need too much precision, in order to effectively reduce costs, and for the development of micro-processing machine industry, the use of the scanner, the topic will be combined with mobile terminal equipment and image processing technology to manufacture low-cost simple 3D scanner for micro-processing machine to the industry. This paragraph describes your major work corresponding to the Chinese part in your paper.

Keywords: 3D Scanner, Intelligent Device, 3D Reconstruction, Contour Method, Computer Vision.

1. 前言

隨著 3D 掃描儀的技術蓬勃發展，使得 3D 掃描儀結合智慧型加工機為未來必然之趨勢，然而它的售價十分昂貴，使得許多中小企業欲引入 3D 掃描儀以結合小型工具機時常因成本之因素而放棄。而目前業界所使用的 3D 掃描儀，因價格大多過於高昂更無法普遍適用於一般使用者。

為了能有效降低成本，開發出適用於中小

企業或一般家戶使用之掃描儀，在本專題中，我們結合行動終端設備與影像處理技術，進行低成本簡易型 3D 掃描儀之研發，本套簡易型 3D 掃描儀系統，利用智慧型終端設備、硬體模組與電腦程式運算，所提供的功能包括：掃描物體、建構 3D 模型圖。系統的主要架構分成兩大部分，分別為物體掃瞄系統與電腦控制以及影像處理，這兩大部分又可細分出數個獨立功能。

系統搭配硬體模組的部分以降低成本而選用 Arduino 做為 3D 掃描儀的控制設備，且使用者利用手持式裝置就可進行掃描動作。並透過電腦程式運算基於輪廓與雙目視覺的固態物體三維重建，本套系統提升了使用者操作的便利性，並加強系統的自動化、立即性以及大大降低使用成本，極具有研發價值。

2. 系統架構

2.1 系統架構示意圖

本系統主要架構可分成如圖 1 所示兩大部分，分別為物體掃瞄部分、電腦控制以及影像處理部分。物體掃瞄系統主要是利用一台智慧型終端設備進行拍攝並以 Arduino 控制轉盤所構成，而拍照部分是透過自行開發的 APP 程式達成，使用時可透過指定 IP 與 PORT 號讓手機與電腦連接，同時以 USB 傳輸線與 Arduino 連接，當完成所有連線後，接下，來只需要按下啟動開關，系統將驅動 Arduino 啟動轉盤功能並同步控制手機進行拍攝，透過雲端將照片同步儲存至電腦，然後再將掃描完成後的圖檔以輪廓法及雙目視覺演算法進行影像處理達成物體三維重建。



圖 1. 系統架構示意圖

2.2 系統操作流程圖

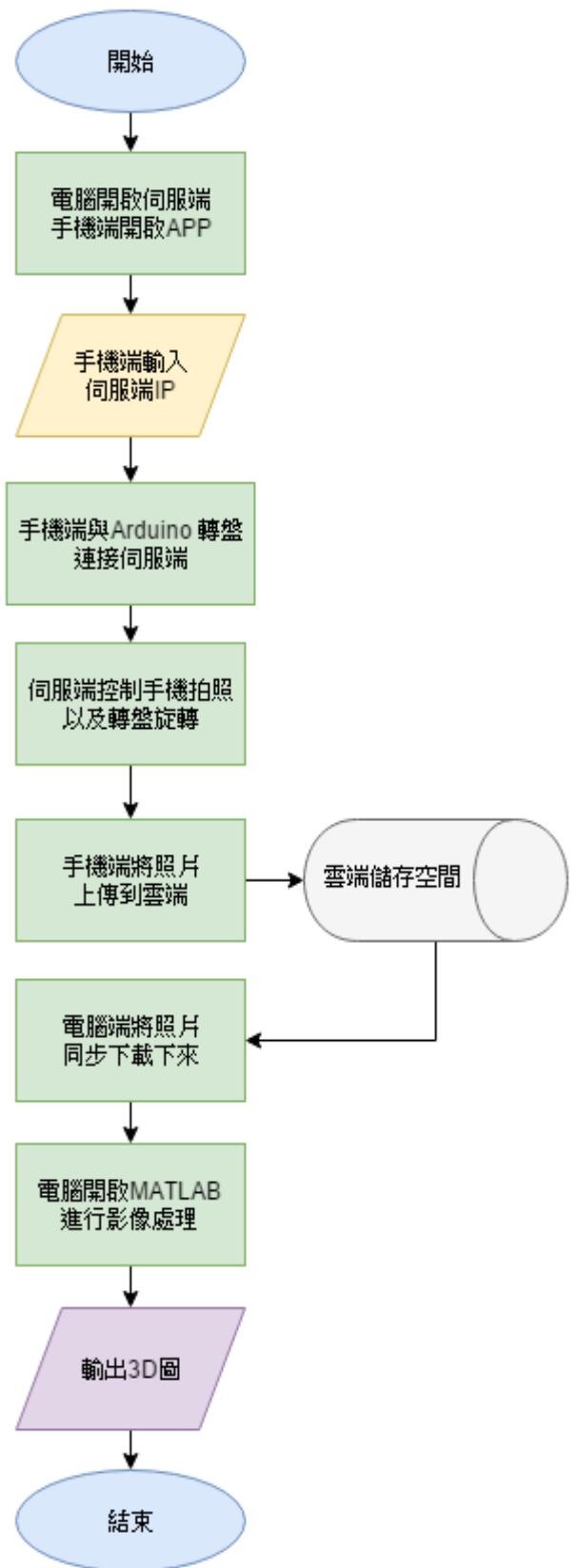


圖 2. 系統運作流程圖

圖 2 為系統運作流程圖，茲將系統操作說明如下：

● Server 端主程式操作模式

首先電腦開啟伺服器控制端，透過 WiFi 與手機連接，電腦主機端也會透過 USB 與 Arduino 模組進行連線，確定連接完畢後，進行掃描物件以及同步傳輸照片至雲端上，再透過系統軟體 MATLAB 讀取 0~360 度之照片，照片數量將可定為 32 張或 64 張等，不限定張數，進行三維重建時，照片張數越多，可提升其精確度，但相對的所需的建構時間也會拉長。

● 手機端與轉盤操作模式

將手機以及轉盤擺至相關確定位置，並於手機 APP 介面輸入伺服器 IP 位址，進行手機與伺服控制端程式連線，同時，電腦主機端也會透過 USB 或 WiFi 與 Arduino 相關模組進行連線，確定連結完畢後就可進行物件掃描並將其拍攝的圖片檔存至雲端，如此可方便電腦透過雲端空間，將所拍攝圖檔下載並進行 3D 重建處理。

3.研究實驗與操作

3.1 系統開發環境

本專題使用 Visual Studio 2015 C#開發 Server 端程式作為主要控制端，以 MATLAB 開發三維重建系統，同時分別以 Android Studio 和 Arduino 撰寫智慧型終端裝置與轉盤為掃描式系統，結合以上所有程式設計系統，來進行整個系統之程式開發。

3.1.1 伺服器控制端開發環境

伺服器遠端控制端系統是以 Microsoft Visual C#語言開發而成[5]。Visual Studio 開發環境支援 C#語言，包含功能完整的程式碼編輯器、編譯器、專案範本、設計工具、程式碼精靈、功能強大且易於使用的偵錯工具，以及其他各種工具。.NET Framework 類別庫對於廣泛的作業系統服務，以及其他有用、設計良好、可顯著加速開發週期的類別，提供存取的支援。

3.1.2 三維重建開發環境

本系統採用 MATLAB 來開發三維重建程式，MATLAB 是一種常用於各領域之演算法開發、資料視覺化、資料分析以及數值計算的高階語言和互動式環境。本系統中主要使用此軟體來開發處理影像的系統。

3.1.3 拍攝端 APP 開發環境

本系統之拍攝程式是以 Android Studio 來撰寫[2]。Android Studio 是用於 Android 應用程式開發的官方 IDE 開發環境 IntelliJ IDEA。除了 IntelliJ 強大的代碼編輯器和開發者工具外，Android Studio 還提供了更多功能，可以在構建 Android 應用程式時提高生產力。

3.1.4 轉盤轉動控制開發環境

透過 Arduino 控制馬達帶動自製轉盤，並利用 Arduino 為開發程式，它是一個開放原始碼的單晶片微電腦，使用 Atmel AVR 單片機，採用了基於開放原始碼的軟硬體平台，構建於開放原始碼 simple I/O 介面板，並且具有使用類似 Java，C 語言的 Processing/Wiring 開發環境，本計畫使用網路攝影機搭配 Arduino 做為 I/O 周邊控制的面板[3][4]，其特色為：

●開放原始碼：

開放原始碼是一種軟件，可以自由使用、修改和共享給任何人。

●成本低廉：

市面上，一張微控制器板子動輒上千元台幣，相較於這類型的微控制板子，Arduino 所需的花費相對較低。

●簡單好用資源多：

傳統上，要開發微控制器的程式，開發者需要具備電子電機相關科系的背景，一般人不容易進入這個世界。Arduino 進入門檻低，即使沒有電子電機相關科系的背景，也可以很容易學會使用 Arduino。

3.2 系統程式設計技術簡介

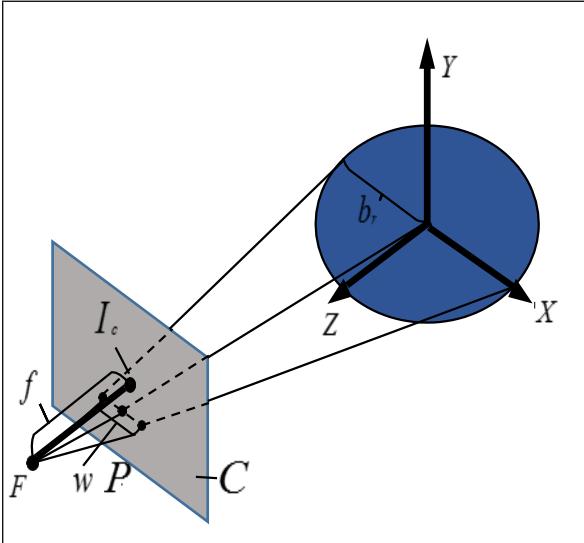


圖 3. 物件投影在歐基里斯空間的示意圖

3.2.2 基於輪廓法進行三維重建技術介紹

MATLAB 主要為三維重建端，首先設定完參數後，開始進行讀取大量照片並計算物件轉動度數，接下來需透過 Disc Calibration 也就是抓取圓盤並進行校正，透過雙目視覺取得投影位置以及參數運算，再結合拍攝照片與原圖進行相減取得物件，程式是利用 Find Object Contour 高斯低通濾波去減少圖像雜訊以及降低細節層次並進行腐蝕膨脹，最後，透過輪廓演算法進行三維重建。

● 輪廓法二維轉三維

假設轉盤中心在歐基里斯空間的原點位置，如圖 3 所示，其中 f 為相機焦距， I_c 為成像平面 C 的中心， P 為轉盤中心在成像平面上的投影點， b_r 為轉盤半徑， w 為轉盤在影像中投影的寬度， P' 與 I'_c 別為 P 與 I_c 在成像平面上的座標。

$$F(X, Y, Z) = ((P'_x - I'_{cx}) \cdot S \cdot \frac{2b_r}{w}, \overrightarrow{PF_y} \cdot \frac{2b_r}{w}, \overrightarrow{PF_z} \cdot \frac{2b_r}{w}) \quad (1)$$

基於輪廓與立體視覺的三維重建計算如下： V 為點雲空間中任意的一個虛擬空間點， V' 為 V 投影在成像平面上的對應點，其中虛擬點雲空

間投影到成像平面上的對應點如下列公式所示：

$$\overrightarrow{FV}'_x = \overrightarrow{FV} \quad (2)$$

$$\overrightarrow{FV}'_y = -\overrightarrow{FV}_z \cdot \sin \theta_x + \overrightarrow{FV}_y \cdot \cos \theta_x \quad (3)$$

$$\overrightarrow{FV}'_z = \overrightarrow{FV}_z \cdot \cos \theta_x + \overrightarrow{FV}_y \cdot \sin \theta_x \quad (4)$$

$$V'_x = \frac{\overrightarrow{FV}'_x \cdot f}{\overrightarrow{FV}'_z \cdot s} \quad (5)$$

$$V'_y = \frac{\overrightarrow{FV}'_y \cdot f}{\overrightarrow{FV}'_z \cdot s} \quad (6)$$

● 轉盤參數計算

二值化結果為如圖 4 中的白色橢圓邊緣， \overrightarrow{FP}_{yz} 為 FP 投影 YZ 平面上的長度， P'_y 與 I'_{cy} 分別為 P' 與 I'_c 的 Y 軸上座標， I_{xmax} 為其 X 軸最大值， I_{xmin} 為其 X 軸最小值， I_{ymax} 為其 Y 軸最大值， I_{ymin} 為其 Y 軸最小值，則在三維空間之中 \overrightarrow{FP}_y 與 \overrightarrow{FP}_z 的計算方式如以下公式所示：

$$\theta_{\overrightarrow{FP}_{yz}} = -\sin^{-1} \frac{I_{ymax} - I_{ymin}}{I_{xmax} - I_{xmin}} \quad (7)$$

$$\overrightarrow{FP}_{yz} = \sqrt{((P'_y - I_{cy}) \cdot S)^2 + f^2} \quad (8)$$

$$\overrightarrow{FP}_y = \overrightarrow{FP}_{yz} \cdot \sin \theta_{\overrightarrow{FP}_{yz}} \quad (9)$$

$$\overrightarrow{FP}_z = \overrightarrow{FP}_{yz} \cdot \cos \theta_{\overrightarrow{FP}_{yz}} \quad (10)$$

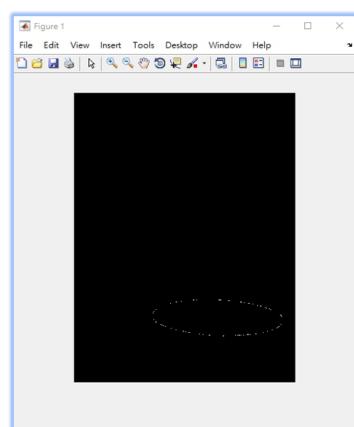


圖 4. 二值化取得轉盤邊緣化

● 找出物件輪廓

透過圖片相減，並利用高斯低通濾波去減少圖像雜訊以及降低細節層次並進行腐蝕膨脹，已將其物件取出如圖 5 所示並透過 Main function 進行三維重建。

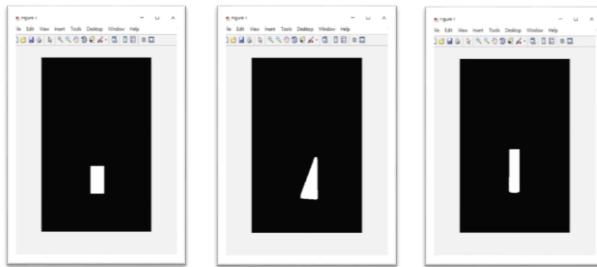


圖 5. 圖片相減二值化

● 輪廓法

輪廓法是使用一系列的物體輪廓完成三維重建的方法，在針孔成像原理中，物體可能存在位置將會隨其深度等比例放大，如圖 6 所示，在獲得物體在各個角度中所拍攝的影像後，經過影像處理技巧去除背景取得輪廓，而在各個角度中物體可能存在位置的交集範圍即是物體的三維重建，重建成效受限於物體表面在影像輪廓線上的覆蓋率[6]。

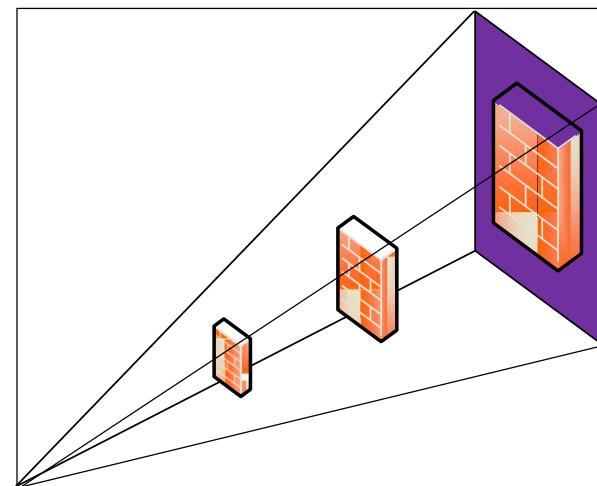


圖 6. 輪廓法之相機投射示意圖

3.2.3 控制端建構技術介紹

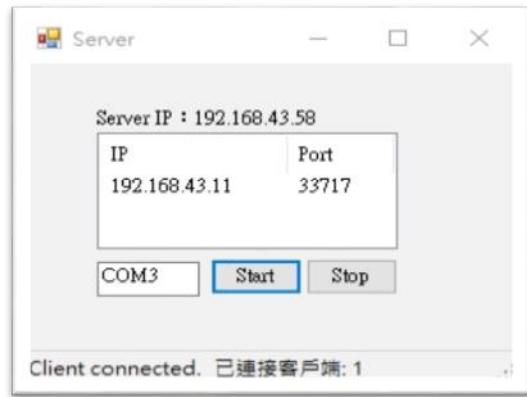


圖 7. 伺服器控制端

首先將參數設定完畢，Server Socket 為主要監聽端和 Client Sockets 為儲存 Socket 的列表，透過 Server 等待手機端 IP 連線，只要有 Client 端連線，Server 就會將其 Socket 放入 Client Sockets 列表中並顯示成功連線。成功連線後如圖 7 所示，就可進行傳送指令給予 Arduino and Smart Phone 以達到同步運行之概念。

3.2.4 拍攝端建構技術介紹

透過 Android studio 撰寫之 MainActivity.java 程式來進行拍攝，首先 Camera.open() 將相機打開，接下來透過 IP 與 PORT 的連接，確定連接成功後，利用 doInBackground 背景執行緒，在將其透過 Socket 進行接收資料，等確定接收到指令再進行 takePicture 拍攝動作。而 CameraPreview.java 主要將影像呈現在 FrameLayout 上並透過度數去命名圖片名稱。圖 8 所顯示為拍攝掃描系統端的操作畫面。

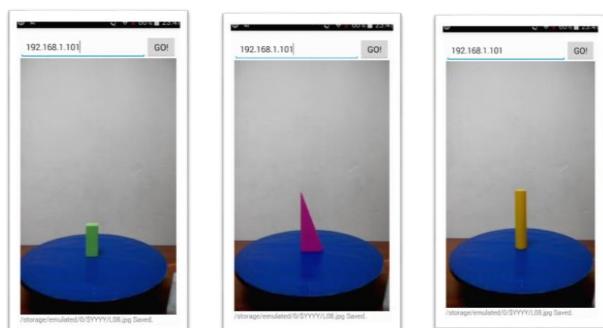


圖 8. 拍攝掃描系統端

3.2.5 Arduino 控制轉盤步進馬達技術介紹

```
#define MotorPin1 8// Blue- 28BYJ48 pin 1 藍線接 pin1  
#define MotorPin2 9// Pink- 28BYJ48 pin 2 粉紅線接 pin2  
#define MotorPin3 10// Yellow- 28BYJ48 pin 3 黃線接 pin3  
#define MotorPin4 11// Orange- 28BYJ48 pin 4 橘線接 pin4
```

如上，將其 Arduino 所需的交接線，連接完畢後，透過旋轉角度之控制，並等待 C#控制端傳送之指令，透過 Serial.read()去等待指令傳送，如接受到旋轉指令，將其進行設定之角度轉動，轉動完畢後，並繼續等待控制端是否繼續傳送指令。

3.3 系統硬體設計簡介

3.3.1 自製轉盤

轉盤是由壓克力圓盤與 Arduino 所控制之馬達所結合成的轉動裝置，主要是藉由馬達控制一片直徑 25cm 的圓盤轉動，馬達的驅動則由程式設計師所寫好的程式燒入至 Arduino 控制板控制，承載重量大約一公斤左右。

● 馬達

步進馬達 STEP MOTOR 28BYJ-48

28BYJ-48[1]是一個單極 4 相，五線步進馬達，規格為 5VDC 的電壓、34.3 盎司的扭力、速度變化率 1/64、跨越角 $5.625^\circ / 64$ ，其特徵有精確的定位，簡單控制且成本低，馬達在停止時具有完全的扭矩，這是可以利用直接連接到軸的負載實現非常低速的同步旋轉，由於馬達是固定角度的增量移動，所以適合用於開發實驗上。

● Arduino

Arduino 為開發微控制器的程式，開發者通常需要具備電子電機相關科系的背景，一般人不容易進入這個世界。但 Arduino 進入門檻低，即使沒有電子電機相關科系的背景，也可以很容易學會使用 Arduino。

3.3.2 手機規格介紹

台灣大哥大 Amazing A8 手機，採用 Android 4.4.2 KitKat 作業系統，內建 MediaTek Inc MediaTek MT6592VW 1.7GHz 八核心處理器，

以及 1GB RAM/8GB ROM 的傑出硬體讓使用者操作起來更加流暢，且機身擁有 5.5 吋 IPS 觸控螢幕、1280*720pixels 螢幕解析度，大螢幕高解析度，讓照片看起來更清晰。

3.4 實驗結果

三種不同形狀物體之三維重建立體圖展示畫面如圖 9。

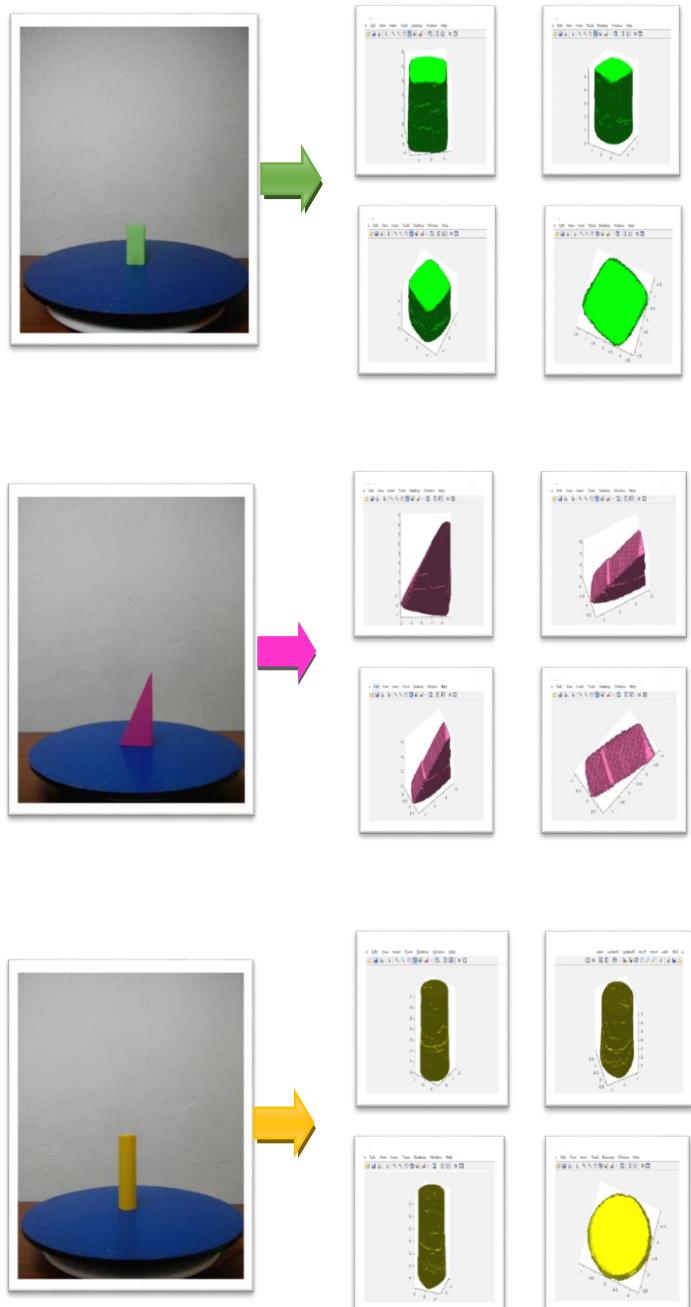


圖 9. 三維重建立體圖

3.5 簡易型 3D 掃描儀優點及未來挑戰

我們所設計之掃描儀，只需攜帶一個轉盤，就可進行掃描之運用。屬於輕巧便攜行，緊湊的設計使之輕鬆捕捉你的世界，適合每一個人的 3D 掃描器，小巧的機器，智慧型手機 App 以及平板電腦兼容的設備，實惠的價格，絕對是符合未來掃描儀的趨勢。故將其分為以下優點及挑戰。

1. 成本低廉 - 成本不需 500 元就可進行掃描。
2. 容易使用 - 只須了解流程說明，不需要有專業人員也可操作掃描器。
3. 迅速 - 3D 建立，只需數分鐘完成，不需幾小時甚至幾天。
4. 小巧、輕量 - 一台小巧的手持裝置加上一台一手掌握之輪盤，就可輕鬆地在任何地方使用。
5. 迎接挑戰 - 未來將其結合雙目視覺演算法，提高精確度，並將標準化量產再度大量下降成本，將硬體馬達乘載量提高，更使其無所不能，即使在複雜、大的、混亂或難以到達的物件。

4. 總結

本套系統搭配硬體模組的部分以降低成本而選用 Arduino 做為 3D 掃描儀的控制設備，且專題結合影像處理技術開發簡易型 3D 掃描系統，透過智慧型終端機 APP 所擷取之影像傳至主機端，再由主機端以影像處理系統進行三維重建，並結合 Arduino 控制板執行掃描之動作，由於步進馬達目前是使用 5V 以先達到模擬簡單物品為主，故物品重量不可太重，以在不增加太多硬體成本之下，即可將原來只能拍照的手機，成為具有主動掃描且同步傳至主機端能力的掃描系統，因成本低廉且可為一般大眾所接受，同時，系統的架設非常容易，故產品較有機會能普及應用。

本系統使用輪廓法以及雙目視覺匹配技術的結合，在間接透過此方法可在進行 3D 重建時，提升精確度，並透過手機同步傳送之技術以達到提升之效率，系統中所使用的 Arduino

控制具有便宜、易開發及多 I/O，可控制更多的週邊設備，設計出更多樣化的掃描系統功能。

未來將其結合雙目視覺演算法，提高精確度，並將標準化量產，再度大量下降成本，將硬體馬達乘載量提高，更使其無所不能，即使在複雜、大的、混亂或難以到達的物件。並將其設定為 Sever 雲端重建，只需透過雲端計算就可將 3D 圖以 STL 格式傳回，並實際結合加工機與 3D 列印。

參考文獻

- [1] 曹永忠、許智誠、蔡英德，"The Stepper Motors Controller Practices by Arduino Technology"，台灣、彰化渥瑪數位有限公司，2014。
- [2] Android Studio User Guide，
<https://developer.android.com/studio/intro/index.html>
- [3] Arduino，
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [4] Cooper Maa，
<http://coopermaa2nd.blogspot.tw/>
- [5] Microsoft C# 程式設計手冊，
<https://msdn.microsoft.com/zh-tw/library/kx37x362.aspx>
- [6] 3D scanner. Available ，
https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner