



INSTITUTO SALESIANO

DESIGN AND APPLIED TECHNOLOGY
FINAL YEAR PROJECT

Laser Engraver

2022-2023

F5B 3 Chaucer Chan

F5B 10 Aston Ku

F5B 22 John U

F5B 23 Hannes Un

目錄

1. 項目擇要：	3
2. 背景：	4
3. 設計：	6
3.1 參考例子	6
3.2 馬達	7
3.3 設計目標	8
4. 技術細則：	9
4.1 半色調	9
4.2 三種常見的半色調方法	10
4.3 FLOYD-STEINBERG DITHERING	11
4.4 OPENCV	12
4.5 GRBL	13
4.6 接線圖	14
4.7 流程圖	15
4.8 程序	16
4.9 齒輪大小與皮帶的關係	19
5. 設計細則：	20
5.1 外型設計	20
5.2 CAD	20
5.3 版本進程	21
5.4 材料選擇	21
6. 最終作品展示：	22
6.1 作品成果	22
7 總結：	26
8. 參考資料：	27

1. 項目擇要：

激光雕刻機是一種使用激光束在不同材料表面創造設計和圖案的機器。激光束由電腦控制，能以高精度和準確性創造複雜的設計和圖案。激光雕刻涉及選擇性地去除微觀層的材料，根據材料不同，激光和材料的相互作用也不同。激光雕刻機因其高精度和準確性受到歡迎，可以用於創建個性化禮品和促銷物品，也可以用於工業製造和原型製造等應用。激光的選擇對於標記的質量很重要，短脈衝的高質量激光脈衝更可取。激光束的波長也是一個重要的考慮因素，選擇適當的波長可以提高標記的質量和精度。不同的材料吸收不同波長的光，例如 **CO2** 激光器通常用於雕刻有機材料，而光纖激光器則常用於金屬和塑料雕刻。

在是次項目，**OpenCV** 被用來精確地檢測和剪裁照片中的臉部。之後，採用半色調技術將照片轉換為多個用於雕刻的點。本項目中使用的半色調方法是 **Floyd–Steinberg dithering**，它可以創建高質量、高精度和準確性的半色調圖像。最後，利用 **GRBL** 控制雕刻機並調整雕刻速度和深度。通過利用這些技術，可以輕鬆地在不同材料上實現高質量和準確性雕刻。

2. 背景：

激光雕刻可以用於各種材料，包括木材、塑料、金屬、玻璃等等。它是一種流行的方法，用於創建個性化物品，如獎杯、銘牌和珠寶，也用於工業應用，如將產品識別號碼或商標刻在機械或設備上。

激光雕刻是一種有選擇性地去除微觀層的材料，從而在處理表面上創建可見標記的過程。根據材料，激光-材料相互作用可以不同。在較硬的表面上，作用機制主要是消融作用，即激光的聚焦光束從基板中脫落微觀顆粒。雕刻可以達到 100 微米甚至更深，而激光標記通常較淺。

激光雕刻機有三種主要類型。最常見的是 **X-Y** 平面的雕刻機，通常工件（表面）靜止不動，而激光光學系統在兩個維度上移動，將激光束導向繪製矢量圖。有時激光靜止不動，而工件移動。有時工件在一個軸上移動，而激光在另一個軸上移動。第二種類型是針對圓柱形工件（或安裝在圓柱體上的平面工件），其中激光有效地穿過一個精細的螺旋線，而開關型激光脈衝產生所需的光柵圖像。在第三種類型中，激光和工件都是靜止的，而鏡子移動激光束在工件表面上移動。使用這種技術的激光雕刻機可以在點陣或矢量模式下工作。

激光雕刻有幾種類型，包括：

1. CO₂ 激光雕刻：這種激光雕刻使用二氧化碳激光器，通常用於有機材料，如木材、皮革和紙張。
2. 光纖激光雕刻：這種激光雕刻使用光纖激光器，通常用於金屬和塑料。
3. 二極體激光雕刻：這種激光雕刻技術使用半導體二極管產生一束相干光束，通常用於金屬和塑料上。

激光雕刻相比傳統的雕刻方法具有以下幾個優點：

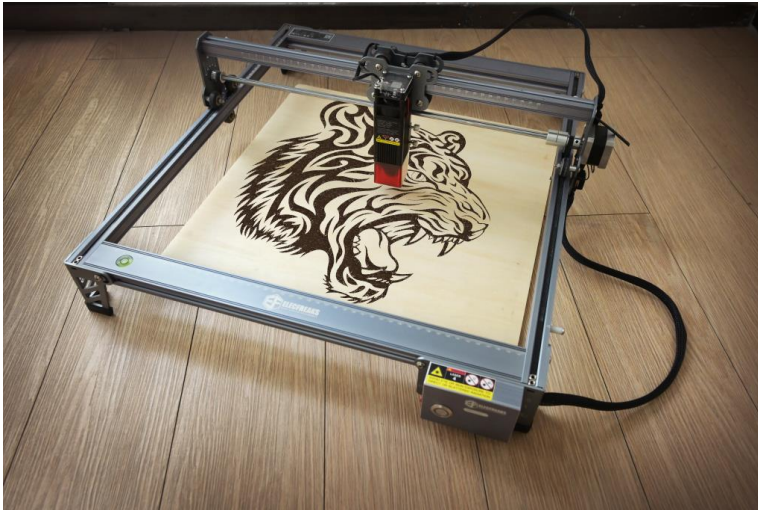
1. 高精度和準確性：激光雕刻可以創建精細和詳細的設計，具有高精度和準確性。
2. 多功能：激光雕刻可以用於各種材料，使其成為創建設計和圖案的多功能方法。
3. 速度和效率：激光雕刻可以快速高效地完成，使其成為大規模雕刻項目的成本效益選擇。



3. 設計：

3.1 參考例子

我們參考其他激光雕刻機（圖 1），發現它具有高精度。當我們提供圖片時，它會從計算機發送 G 代碼到 Arduino Nano，而 Arduino Nano 可以在理論上控制每步 0.0125 毫米的步進電機。因此，它具有高精度。



(圖 1)

圖 2 需要兩個 DVD 驅動器機構來分別為 X 軸和 Y 軸提供支持。使用的步進電機為 4 引腳雙極步進電機。DVD 電機小巧廉價，但可能無法提供高分辨率。高分辨率是由導杆提供的。並非所有的 DVD 電機都有 20 步/圈的規格，24 步/圈也是常見的規格。因此，需要測試電機的步進/圈規格以確定其實際性能。



3.2 馬達

我們可以選擇伺服馬達、直流系列馬達、無刷直流電機、步進電機等，但伺服馬達只能旋轉 180 度，而直流系列馬達需要嵌入開環系統，且成本較高。這就是為什麼我們選擇步進電機的原因，因為它具有更長的壽命。

我們在激光雕刻機中使用步進電機和無刷直流電機，它們提供了極佳的速度控制和高可靠性，但也存在一些缺點，例如在極高速度下不易操作。大部分激光雕刻機使用步進電機，因為它們提供最強大的動能，並能驅動激光頭以極快的速度移動。

傳動：

1. DC 馬達 + 皮帶傳動主軸

- 轉速：可達 24000 RPM
- 壽命：約 300 小時
- 力矩大
- 精度低

2. 變頻無刷馬達

- 轉速：大於 30000 RPM
- 無需更換炭刷

3.3 設計目標

我們的激光雕刻機預計是一種高效、精確的工具，可以在 **A4** 尺寸的圖片上創建人臉的美麗雕刻。為了實現這一目標，我們要求機器由 **Arduino Nano** 微控制器控制，提供必要的編程和控制功能。我們還希望機器重量輕，重量約為 **1000 克**，方便根據需要移動和操縱。

為了確保機器能夠以速度和精確度處理雕刻過程，我們要求一個 **440** 轉速的步進馬達和提供必要耐用性和強度的鋁質表面。有了這些規格，我們可以有信心機器能夠生產出符合我們高標準的美麗且持久的雕刻品。

此外，我們期望我們的激光雕刻機能夠掃描人臉並將其雕刻到圖片表面。這將需要先進的計算機視覺技術和圖像處理算法來檢測和分析人臉的特徵，然後將這些信息轉化為激光模組的精確運動。

4. 技術細則：

4.1 半色調

圖像通常可以使用像素的二維數組表示，每個像素代表圖像的一個小單元。每個像素可以被賦予一個對應其亮度或顏色的值，這個值可以用來模擬灰度或創建全彩色圖像。模擬灰度的一種方法是改變用於表示像素的點的大小。當點很小時，它顯得更暗，因為它覆蓋的面積更小，讓更多的背景透過。當點很大時，它顯得更亮，因為它覆蓋的面積更大，遮蓋了更多的背景。

我們的眼睛能夠將圖像中的細節進行空間整合和混合，因此能夠從足夠的距離感知整體的亮度或強度。這就是為什麼即使由大點或像素組成的圖像，從遠處觀看時仍能被感知為具有灰度或甚至全彩色的原因。

用不同大小的點來表示像素以模擬灰度是一種有用的技術，可以創造出高質量的視覺表達，呈現複雜數據的特徵。而這種技術正是利用了我們的眼睛整合和解釋視覺信息的能力。但是，用於表示像素的點的大小會影響圖像的分辨率和質量。如果點太大，圖像可能會呈現方塊狀或像素化的外觀，相鄰像素之間會有可見的邊緣。如果點太小，圖像可能會呈現模糊或不清晰的外觀，細微的細節也可能會在雜訊中丟失。

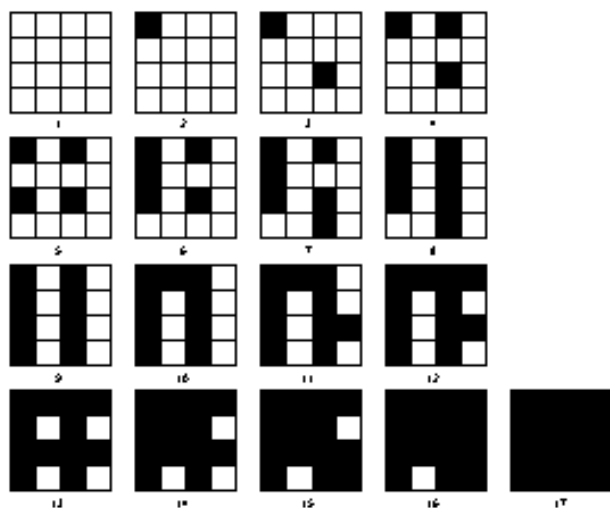
使用不同大小的點來表示像素以模擬灰度，是一種創造高質量視覺表達並呈現複雜數據特徵的有用技術，它利用了我們的眼睛整合和解釋視覺信息的能力。



4.2 三種常見的半色調方法

1. Patterning

這種技術可以生成比原始圖像更高空間分辨率的圖像。輸出圖像的半色調單元數與原始圖像的像素數相同，但每個半色調單元會被細分為一個 **4x4** 的網格。每個輸入像素值將由半色調單元中填充的不同格數來表示。由於 **4x4** 網格只能表示 **17** 種不同的強度級別，因此必須對原始圖像進行量化。



2. Dithering

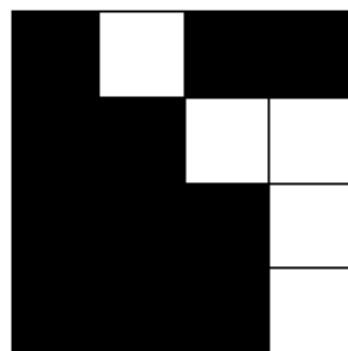
與 **Patterning** 不同，**Dithering** 可以生成與原始圖像像素數相同的輸出圖像。**Dithering** 可以被視為用一個 **Dither** 矩陣對原始圖像進行閾值處理。該矩陣在原始圖像上重複放置。只有當圖像像素值大於矩陣中的值時，輸出圖像上的點才會被填充。**Dithering** 的一個著名問題是它會產生由固定閾值矩陣引入的圖案異常。

12	51	34	121
78	254	10	97
45	113	110	16
90	200	206	34

input image

0	60	0	60
45	110	45	110
0	60	0	60
45	110	45	110

repeated dither matrix



output image

3. Error Diffusion

Error Diffusion 是另一種用於生成數字半色調圖像的技術，常被稱為 **Spatial Dithering**。**Error Diffusion** 依次遍歷源圖像的每個像素。每個像素都與一個閾值進行比較。如果像素值大於閾值，則輸出 255；否則輸出 0。誤差（輸入像素值和輸出值之間的差異）會分散到相鄰像素中。

Error Diffusion 是一種鄰域操作，因為它不僅對輸入像素進行操作，還對其鄰居進行操作。通常，鄰域操作產生的結果質量比點操作高。相較於 **Dithering**，**Error Diffusion** 不會產生由固定閾值矩陣引入的圖案異常。但由於 **Error Diffusion** 需要進行鄰域操作，因此計算成本非常高。

4.3 FLOYD-STEINBERG DITHERING

本項目使用了 **Floyd–Steinberg dithering** 算法。該算法最初由 **Robert W. Floyd** 和 **Louis Steinberg** 於 1976 年引入，並被廣泛應用於圖像處理軟件中。該算法在將圖像轉換為受限調色板（例如 GIF 格式的 256 色限制）時特別有用。

該算法使用誤差擴散來實現抖動，即將像素的殘留量化誤差添加到其相鄰像素上。算法從左到右、從上到下掃描圖像，逐個量化像素值。每次量化時，誤差被傳輸到相鄰像素上，而不影響已經被量化的像素。擴散係數具有一個特性，即如果原始像素值恰好介於最近可用顏色之間，則抖動結果是一個棋盤格紋。

為了實現最佳抖動效果，量化誤差的計算應足夠精確，以防止四捨五入誤差影響結果。一些實現使用蛇形掃描或牛轉角變換抖動，其中掃描的水平方向在行之間交替進行。

該算法的偽代碼適用於任何近似線性編碼的像素值，例如 8 位整數、16 位整數或在 [0, 1] 範圍內的實數。

4.4 OPENCV

OpenCV（開源計算機視覺）是一個開源的計算機視覺和機器學習軟件庫，它允許開發人員構建實時計算機視覺應用程序。它提供了廣泛的功能和算法，旨在幫助開發人員構建可以分析和理解視覺數據的應用程序。

OpenCV 最受歡迎的功能之一是其能夠以極高的準確性檢測和切割照片中的人臉。這個功能對於需要進行人臉識別或人臉分析的應用程序尤其有用。庫中有一系列預訓練模型可以檢測和識別人臉，使開發人員能夠輕鬆地將此功能實現在他們的項目中。

OpenCV 的應用領域包括：

- **2D 和 3D 特徵工具包**
- 自我運動估計
- 人臉識別系統
- 手勢識別
- 人機交互（HCI）
- 移動機器人
- 運動理解
- 物體檢測
- 分割和識別
- 立體視覺：從 **2** 個攝像頭中獲得深度感知
- 運動結構（SFM）
- 運動視頻跟踪
- 擴增現實



4.5 GRBL

GRBL 是一個廣泛用於 **CNC** 社區的熱門開源軟件。它是專門為微控制器板開發的控制程序，使得可以使用 **Arduino** 來操作 **CNC** 機器。這使得它成為了業餘愛好者和製造商建造自己的 **CNC** 機器的熱門選擇。

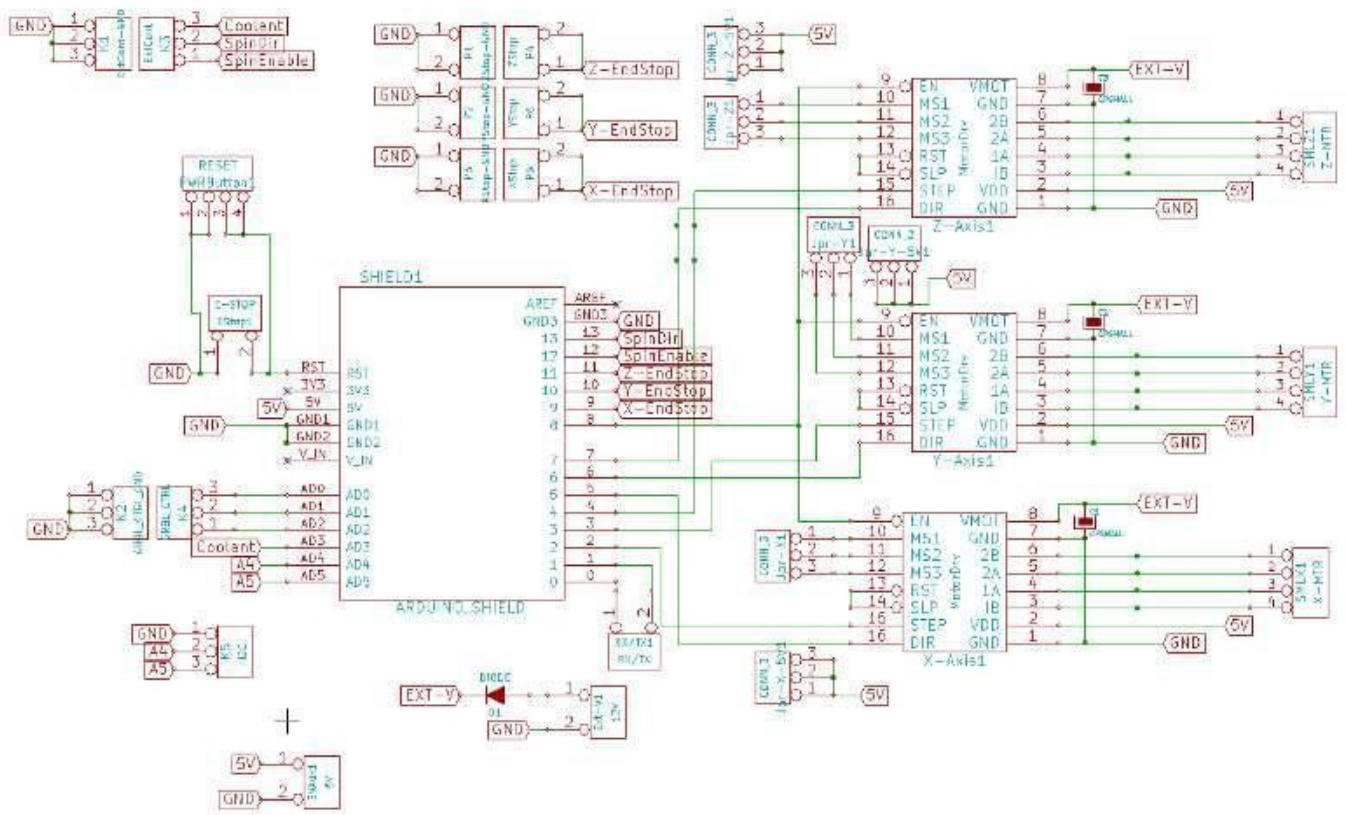
GRBL 的主要優點之一是它是免費且開源的，這意味著開發人員可以修改和自定義軟件以滿足他們的特定需求。這導致了一個龐大而活躍的開發人員社群，他們不斷努力改進軟件並添加新功能。

GRBL 通常與 **Arduino Uno** 結合使用，這是一個流行的微控制器板，廣泛可用且易於使用。該軟件設計為輕量級和高效，這意味著它可以在處理能力有限的各種微控制器板上運行。

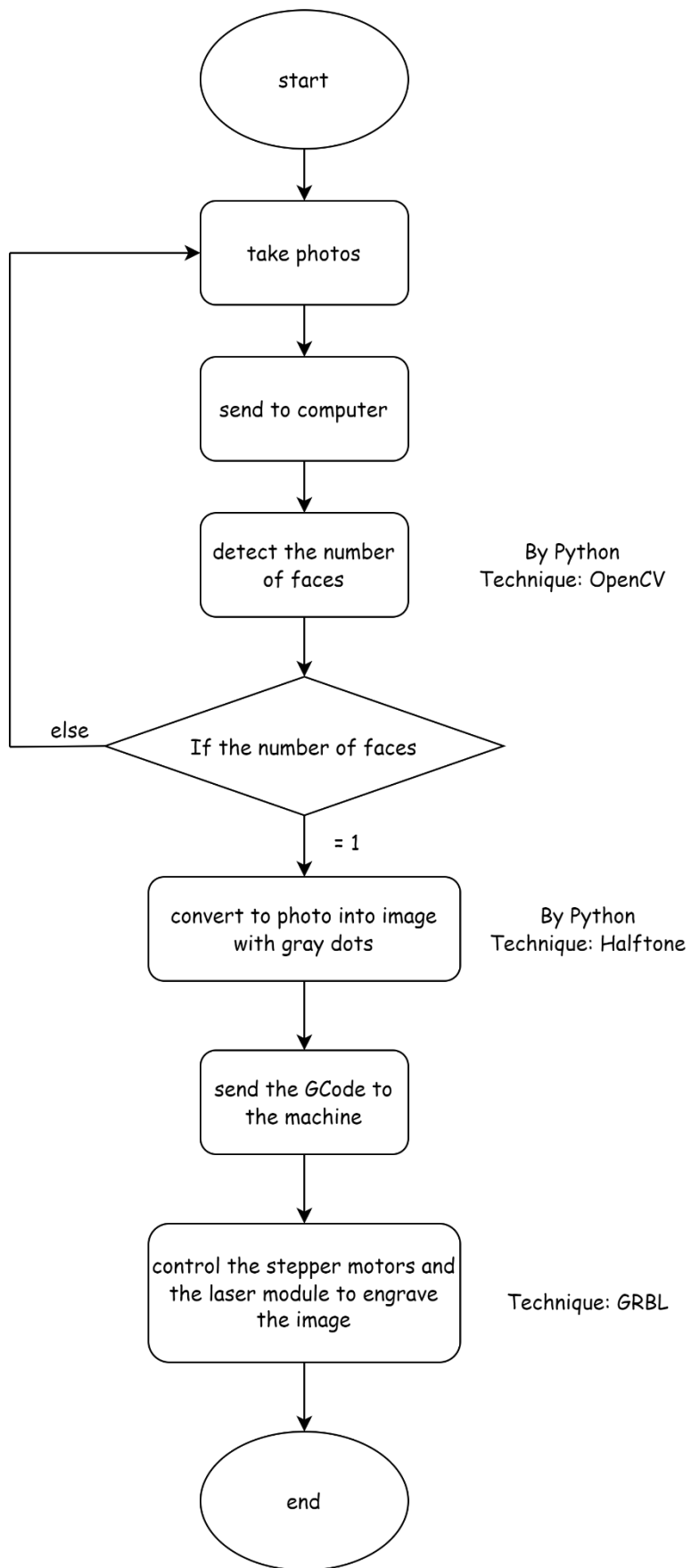
總的來說，**GRBL** 是一個強大且靈活的軟件，使得業餘愛好者和製造商可以使用價格實惠且廣泛可用的硬件來建造自己的 **CNC** 機器。它的開源性和活躍的開發人員社群有助於使其成為 **CNC** 界中最受歡迎的控制程序之一。



4.6 接線圖



4.7 流程圖



4.8 程序

提取人臉並進行半色調

```
import cv2

import numpy as np

from PIL import Image, ImageDraw

def floyd_steinberg_dithering(image, dot_size, levels):
    width, height = image.size

    new_width = 100

    new_height = int((height/width) * new_width)

    process = image.resize((new_width,new_height))

    pixels = process.load()

    # Create a new blank image with the same size as the input image
    dot_image = Image.new('L', (new_width * dot_size, new_height * dot_size), 255)

    # Create a new ImageDraw object for drawing circles
    draw = ImageDraw.Draw(dot_image)

    # Define the circle radius as half the dot size
    radius = dot_size // 2

    for y in range(new_height - 1):
        for x in range(1, new_width - 1):
            old_pixel = pixels[x, y]

            new_pixel = int(round(old_pixel / 255 * (levels - 1)) * (255 / (levels - 1)))

            # Set the dot color based on the quantized pixel value
            dot_color = int(new_pixel) + 50

            # Draw a circle at the current pixel position
            x_pos = x * dot_size + dot_size // 2
            y_pos = y * dot_size + dot_size // 2
            draw.ellipse((x_pos - radius, y_pos - radius, x_pos + radius, y_pos + radius), fill=dot_color)

            quant_error = old_pixel - new_pixel

            # Distribute the error to neighboring pixels
```



```

        if x + 1 < new_width:
            pixels[x + 1, y] += int(quant_error * 7 / 16)

        if x - 1 >= 0 and y + 1 < new_height:
            pixels[x - 1, y + 1] += int(quant_error * 3 / 16)

        if y + 1 < new_height:
            pixels[x, y + 1] += int(quant_error * 5 / 16)

        if x + 1 < new_width and y + 1 < new_height:
            pixels[x + 1, y + 1] += int(quant_error * 1 / 16)

    return dot_image

# Import the image
img = cv2.imread('123123.jpg')

# Edit the image
gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

# Create a face detection classifier
faceCascade = cv2.CascadeClassifier('face_detect.xml')

# Detect the number of faces
faceRect = faceCascade.detectMultiScale(gray, 1.1, 8)

# Print the number of faces
print(len(faceRect))

if len(faceRect) == 1:
    # Loop through the list of faces and extract each one
    for i, (x, y, w, h) in enumerate(faceRect):
        # Extract the face from the original image
        face = img[y:y + h, x:x + w]

        # Convert the face to a PIL Image object
        pil_face = Image.fromarray(face)

        # Convert the PIL Image to grayscale and apply halftone
        input_image = pil_face.convert("L")

        # Apply halftone with the desired parameters
        output_image = floyd_steinberg_dithering(input_image, dot_size=50, levels=10)

        # Display the output image
        output_image.show()

        # Save the halftone image as a JPEG file
        halftone_array = np.array(output_image) # Convert the PIL Image to a NumPy array
        cv2.imwrite("face_halftone.jpg", halftone_array) # Save the NumPy array as a JPEG file

```

```
elif len(faceRect) == 0:
    print("No faces detected")
else:
    print("More than one face")
```

這段代碼的語言是 **Python**，將 **Floyd–Steinberg dithering** 算法應用於輸入圖像中檢測到的人臉。首先使用 **OpenCV** 的 **cvtColor()** 函數將輸入圖像轉換為灰度圖像。然後，使用 **OpenCV** 的 **CascadeClassifier()** 在灰度圖像中檢測人臉。如果檢測到一個人臉，則從原始圖像中提取它並轉換為 **PIL** 圖像對象。將 **floyd_steinberg_dithering()** 函數應用於 **PIL** 圖像對象，以應用所需的抖動算法參數。使用 **OpenCV** 的 **imwrite()** 函數顯示和保存生成的半色調圖像為 **JPEG** 文件。

floyd_steinberg_dithering() 函數接受三個參數：要應用抖動的輸入圖像，**dot_size** 控制輸出圖像中點的大小，**levels** 控制抖動過程中使用的量化級別數量。該函數首先將輸入圖像調整為新寬度為 **100** 像素，同時保持其長寬比。然後，使用 **ImageDraw** 模塊在其上繪製圓圈，以表示抖動的點。該函數通過迭代每個像素並將量化誤差分配給相鄰像素來將 **Floyd–Steinberg** 抖動算法應用於輸入圖像。該函數將輸出圖像作為 **PIL** 圖像對象返回。

4.9 齒輪大小與皮帶的關係

圓周運動是指物體沿著一個圓形路徑運動的一種運動類型。在圓周運動中，有兩個重要的公式，它們涉及物體沿圓周路徑運動時的線性位移、角位移、線性速度和角速度。這些公式可以幫助我們了解齒輪的大小與物體沿著圓周路徑的線性位移和速度之間的關係。

第一個公式為 $s=r\theta$ ，它將物體沿圓周路徑的線性位移(**s**)與圓的半徑(**r**)和物體的角位移(**θ**)聯繫起來。這個公式告訴我們物體的線性位移與圓的半徑和物體的角位移成正比。第二個公式為 $v=r\omega$ ，它將物體沿圓周路徑的線性速度(**v**)與圓的半徑(**r**)和物體的角速度(**ω**)聯繫起來。這個公式告訴我們物體的線性速度與圓的半徑和物體的角速度成正比。

當齒輪的尺寸更大時，圓周路徑的半徑也更大，這意味著物體的線性位移在步進電機的相同旋轉角度下更大。這是因為更大的齒輪有更大的周長，這意味著它每次旋轉可以覆蓋更長的距離。

然而，當齒輪的尺寸更大時，雖然半徑與線性速度成正比，皮帶的速度也更快，但線性位移也更大，從而導致高速度和低分辨率。這意味著物體沿圓周路徑移動得更快，但每一步會覆蓋更長的距離，導致運動的分辨率更低。相反，當齒輪的尺寸更小時，物體的速度更慢，但線性位移更小，從而導致運動的分辨率更高。

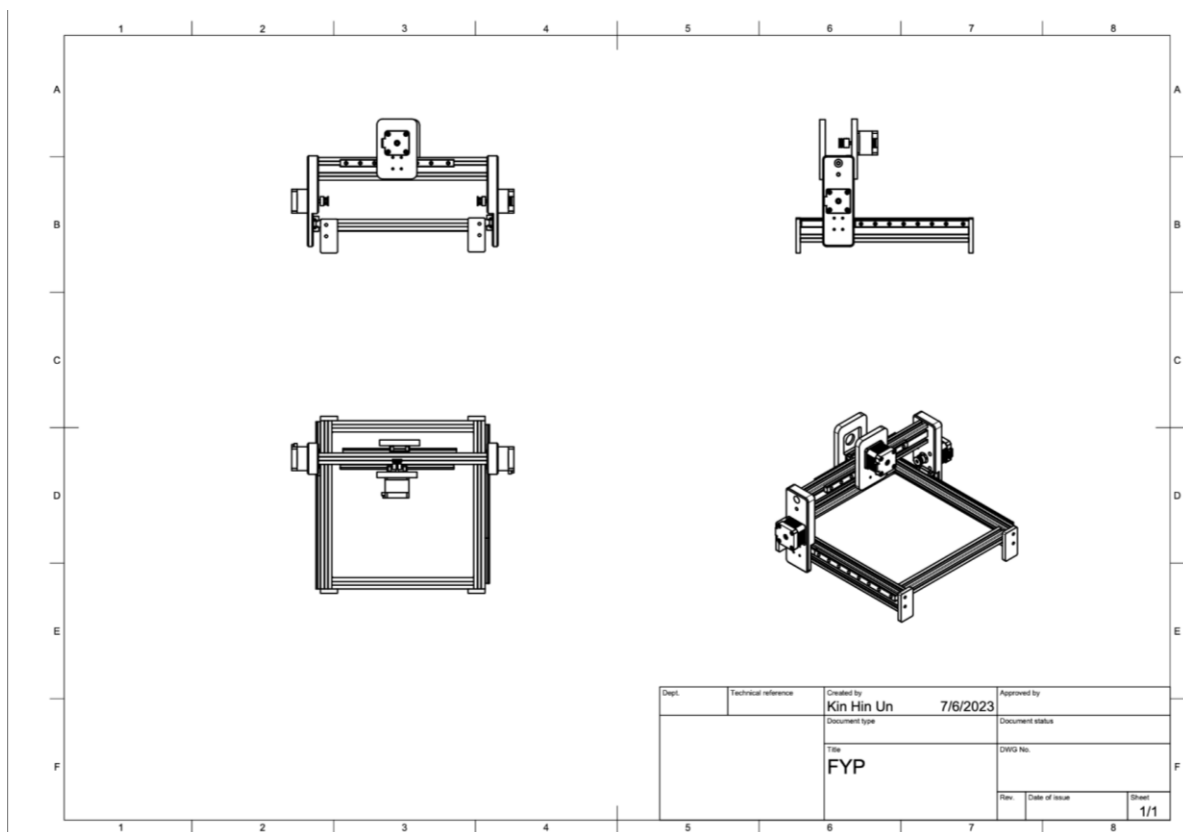
在圓周運動中使用的齒輪的大小會影響物體沿圓周路徑的線性位移和速度，因此在選擇齒輪的大小時需要考慮速度和分辨率之間的權衡。

5. 設計細則：

5.1 外型設計

- 微控制器：Arduino ESP32
- 輸入電壓：12V
- 長度：391mm 闊度：312mm 高度：245mm
- 重量：約 2 kg
- 選用材料：鋁，亞克力，鋁合金，PLA

5.2 CAD



我們首先將畫框的尺寸固定為 **A4**，並逐步添加組件。這樣做可以確保每個組件都被正確整合。在添加每個新組件時，我們仔細考慮了它的位置以及它對整個畫框設計的影響。通過採用有條理的方法並密切關注細節。

5.3 版本進程

一開始，我們認為只使用皮帶進行傳輸，但皮帶不適合且存在大的間隙，因此我們添加了四個線性運動導軌。

我們決定將線性運動導軌安裝在框架的內部，但由於我們的要求是雕刻 **A4** 大小的圖片，因此內部空間不足以移動，所以將其移至框架的外部。此外，我們更換了連接器的材料，因為 **3D** 技術可以有效減輕重量。

另外，我們更換了控制板和激光模組，以改善激光雕刻系統的性能。在某些情況下，原始元件可能無法提供所需的激光強度控制水平，以滿足特定應用的要求。升級到更先進的元件可以提供更高的精度和靈活性，以控制激光，進而提高輸出質量和效率。

安裝新的元件後，重要的是要測試和校準系統，以確保其正確運作。這可能涉及調整設置和參數，以優化激光的輸出並確保其一致性和準確性。還可能需要進行持續的維護和監控，以確保系統隨著時間的推移繼續有效運行。

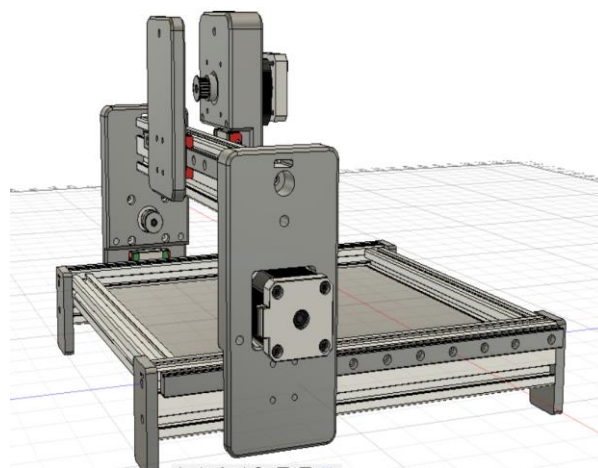
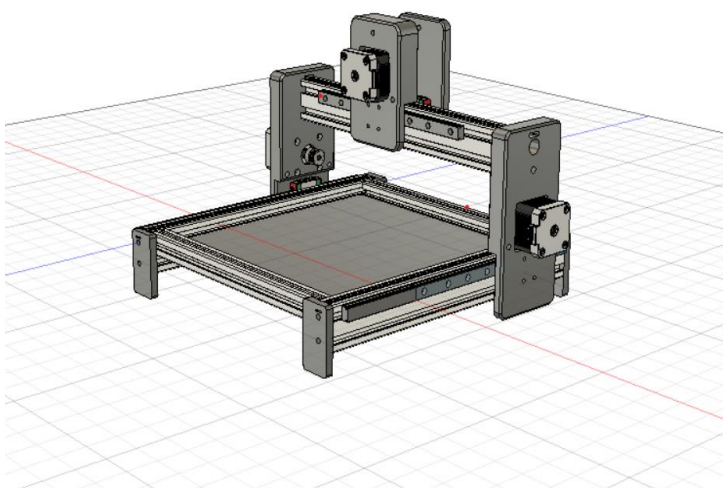
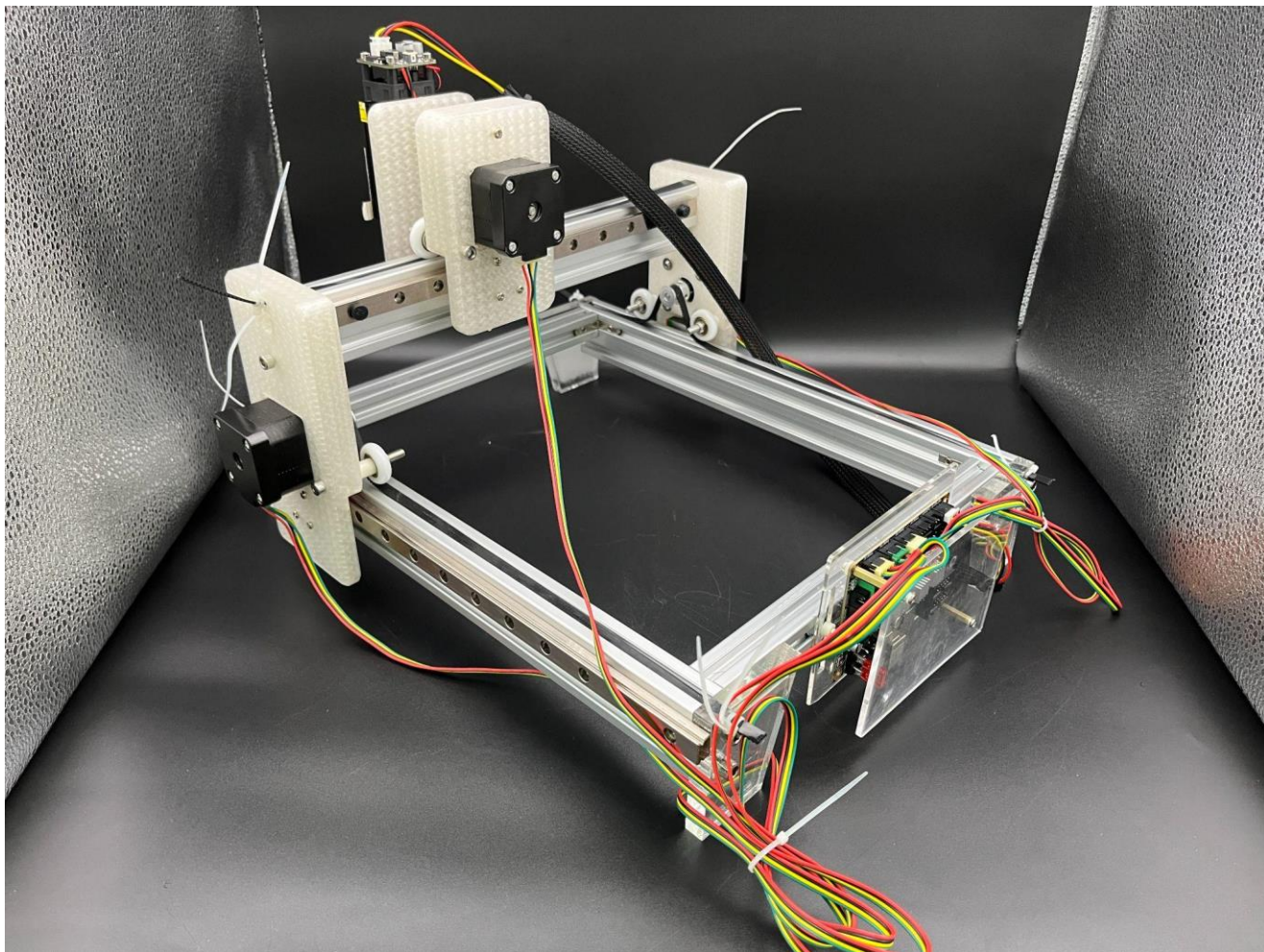
5.4 材料選擇

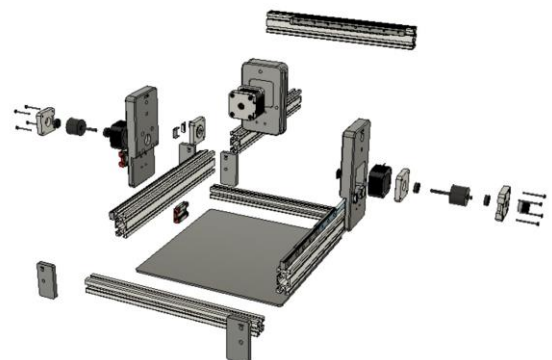
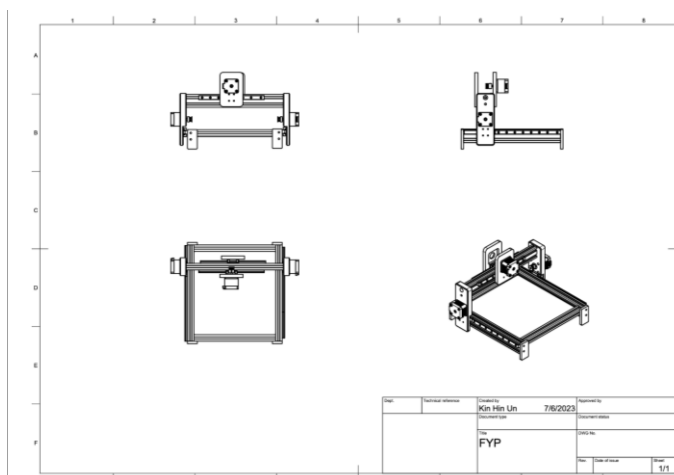
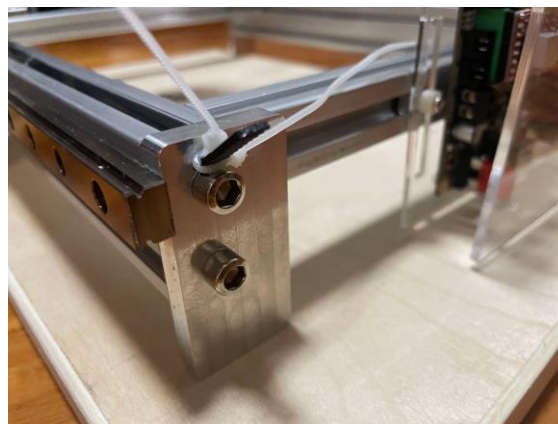
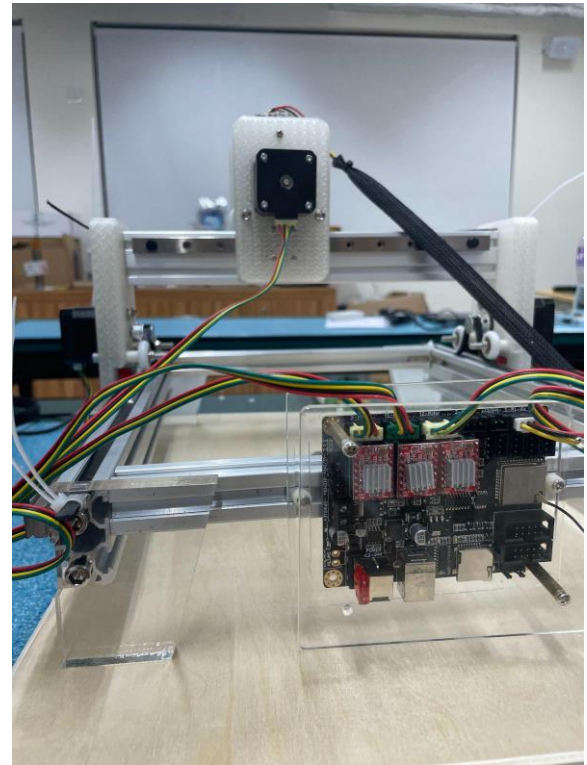
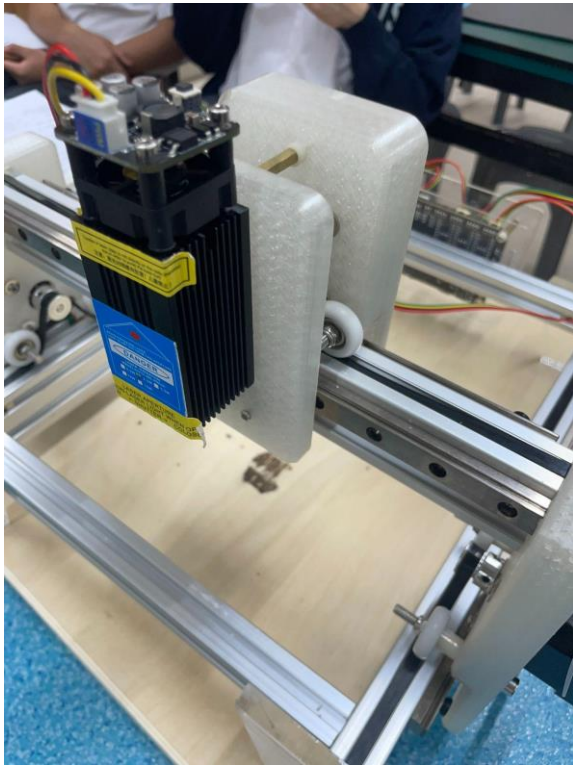
我們參考了其他材料，如木材、塑料、玻璃、碳纖維等，但有些材料不符合我們的標準，比如木材和塑料的使用壽命較短，碳纖維的成本較高。因此，我們的第一選擇是使用鋁材，因為它的密度約為 **2.71** 克/立方厘米，可以降低我們機器的重量，並具有更好的耐腐蝕性，可以在更低的成本下延長服務壽命。此外，我們將支撐材料更換為鋁合金，以使機器更加牢固。

6. 最終作品展示：

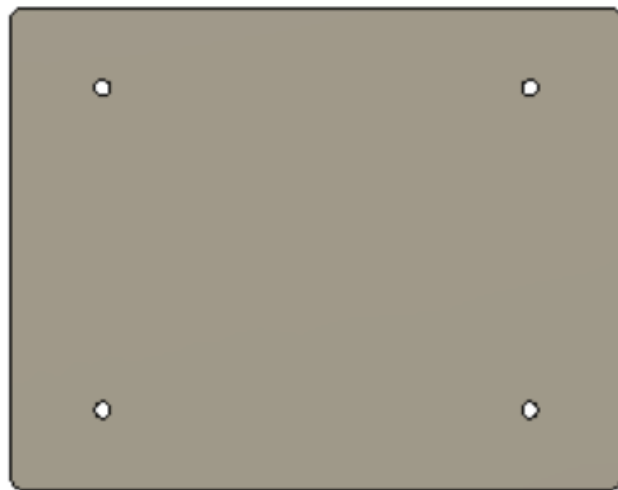
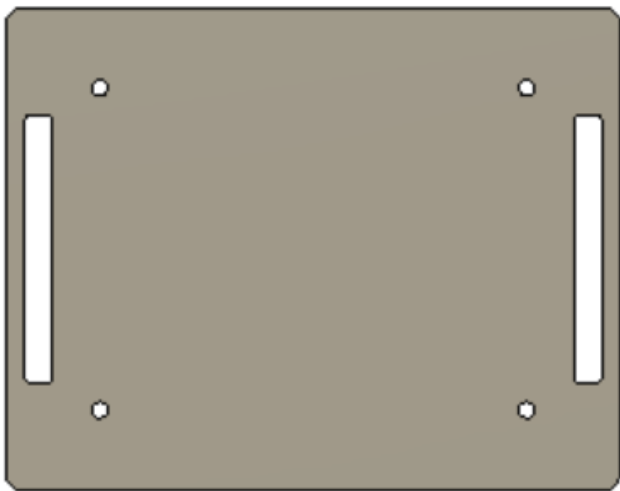
6.1 作品成果

雷射雕刻機本體

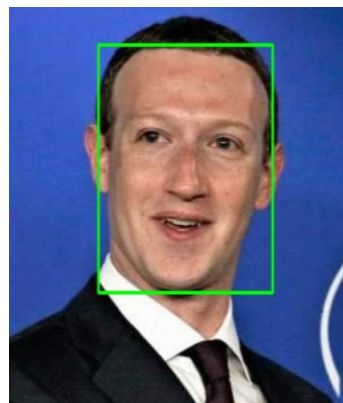




控制板支架

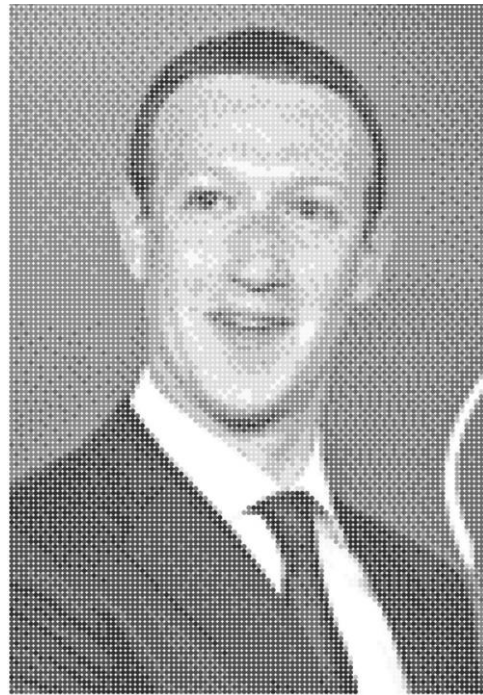


提取人臉



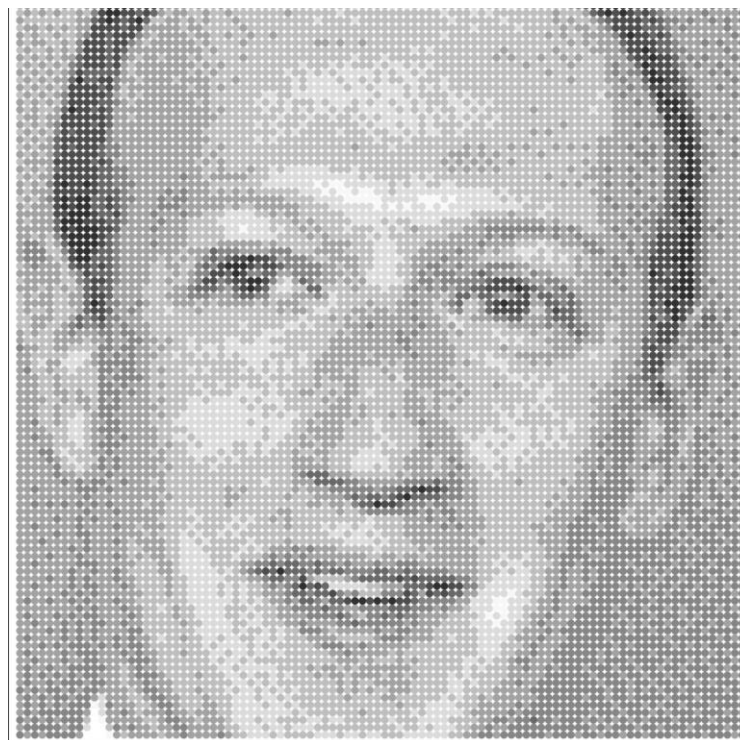
(原圖)

半色調



(原圖)

合併效果



7 總結：

我們已經完成了大部分的目標，從人臉提取到半色調處理，一一應手。如今，這臺機器已經適合家庭使用。然而，我們仍需突破重圍，將 **gCode** 通過 **USB** 直接從 **Python** 代碼傳輸到機器。這是最後的重要任務，也是我們必須攻克的難關。

我們正積極研究最佳方法，以便實現從 **Python** 代碼到機器的直接傳輸，使操作更加便捷。我們深信，一旦完成這部分，這臺機器將會更加優秀，能夠滿足更多的用戶需求。我們深諳，將 **gCode** 傳輸到機器對於保證最終輸出的準確性和精度至關重要。因此，我們正精益求精，力求實施最佳的方法來完成這項任務。

一旦我們成功完成這最後一步，這臺機器必將更加高效、可靠，並更加貼近用戶的需求。我們對於能夠為客戶提供優質產品的前景感到無比興奮，並期望為他們帶來一段難忘的使用體驗。

工作分配：

陳凱銘	報告、簡報、海報、匯報
顧朗賢	則圖、組裝
余文滔	報告、簡報、海報
袁鍵軒	組裝、報告、簡報、匯報、技術（Halftone, GRBL, OpenCV）、採購

8. 參考資料：

Digital Halftoning

<https://people.ece.ubc.ca/irenek/techpaps/introip/manual04.html>

EVERYTHING YOU NEED TO KNOW ABOUT STEPPER MOTORS - ORIENTAL MOTOR

<https://www.orientalmotor.com/stepper-motors/technology/everything-about-stepper-motors.html>

Stepper Motors Advantages and Disadvantages - RealPars

<https://realpars.com/stepper-motors-advantages/>

馬達特性與選用 – 國立中興大學

<http://www.smim.nchu.edu.tw/DP/mean/10902/%E9%A6%AC%E9%81%94%E7%89%B9%E6%80%A7%E8%88%87%E9%81%B8%E7%94%A8.pdf>

The Cheapest Laser Engraver On Amazon - Andy Bird Builds

<https://youtu.be/5FzPDWqLqVE>

HALFTONE - Dusan C. Stulik | Art Kaplan

https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/atlas_halfone.pdf

BEGINNER LASER ENGRAVING AND CUTTING TUTORIAL WITH THE SCULPFUN S9 FROM BANGGOOD - SMALL FLY CREATIONS

<https://www.youtube.com/watch?v=oJukNTgHns4>

STEPPER MOTOR, ADVANTAGES, DISADVANTAGES, APPLICATIONS, WORKING - CS ELECTRICAL & ELECTRONICS

<https://cselectricalandelectronics.com/stepper-motor-advantages-disadvantages-applications-working/>