



國立高雄科技大學
電機工程系

Department of Electrical
Engineering National
Kaohsiung University of
Science and Technology

日間部四年制大學部

114 學年度 專題製作計畫書報告

題目：基於雙軌資料管線與伺服器端物理模擬之
3D 虛擬試穿系統

組員：林宇鑫 C113154216

紀泓宇 C113172149

趙丞章 C113154227

指導老師：梁廷宇教授

中華民國 115 年 7 月

摘要

網購服飾雖然方便，但由於缺乏實體的試穿體驗，消費者常面臨搭配困難、尺寸判斷不易及缺乏真實視覺參考等問題，這不僅增加了消費者的購物風險，也導致電商退貨率居高不下。為了解決此痛點，本專題開發一套「基於雙軌資料管線與伺服器端物理模擬之 3D 虛擬試穿系統」，提供具備毫秒級精準推薦與真實物理互動感的線上試穿體驗。

本系統的底層架構創新性地導入「雙軌自動化上架管線」。當商家輸入商品資訊時，系統後端會同步啟動兩項核心任務：首先，利用多模態特徵編碼模型（如 FashionCLIP）萃取服飾特徵並存入向量資料庫，建構高效率的檢索基礎；其次，系統自動讀取服飾尺寸表，透過 Python 幾何演算法對 3D 服飾公版進行精準的頂點拉伸，並結合 UV 映射技術將 2D 商品照完美貼合至變形後的 3D 網格，實現物理尺寸與商品外觀的雙重還原。

在使用者終端體驗上，系統結合了參數化人體建模 SMPL-X [4] 技術，透過使用者輸入的身高與三圍參數，動態生成符合真實體態的專屬 3D 網格人偶。本專題進一步採用「運算與渲染分離」的工程架構，將極度消耗算力的布料碰撞與重力下垂等物理模擬交由後端伺服器處理，並將運算結果烘焙為輕量化的 3D 動態檔案。前端只需載入該檔案，使用者即可在瀏覽器中流暢地進行 360 度多視角檢視，觀察衣服在客製化體型上的緊繃或垂墜感。

本專題透過整合 AI 多模態推薦、參數化 3D 幾何建模與伺服器端物理演算，建構出一個高穩定度且具備真實物理互動的線上試穿平台。此架構不僅有

效提升了穿搭推薦效率，更大幅降低了消費者尺寸選擇的不確定性，為服飾電子商務提供極具商業落地潛力的高可行性解決方案。

本系統有別於傳統虛擬試穿直接於前端執行物理模擬，而採用「Server-side Simulation + Client-side Rendering」架構，透過伺服器完成高成本布料運算，再以輕量化 3D 動畫檔提供跨平台展示，兼顧擬真度與效能。

關鍵字： 雙軌資料管線、3D 虛擬試穿、SMPL-X、Server-side Simulation、多模態推薦

目錄

摘要	i
一、專題目的與重要性	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	1
1.3 研究重要性	2
二、方法與步驟	3
2.1 系統架構概覽	3
2.2 模組一：雙軌資料管線與多模態推薦	5
2.3 模組二：參數化 3D 體型生成	5
2.4 模組三：3D 服飾幾何校正與材質映射	6
2.5 模組四：伺服器端物理模擬與前端互動展示	6
2.6 論文引用清單	8
三、預期完成工作項目與具體成果	9
3.1 工作項目	9
3.2 成員分工	10
3.3 具體成果	11
四、預定進度表（甘特圖）	12
五、指導老師建議	13
參考資料	14

圖目錄

圖 2-1、系統整體流程圖.....	4
圖 2-2、系統軟體堆疊圖.....	4
圖 2-3、後端架構圖.....	5
圖 4-1、預計工作項目與時間.....	12

表目錄

表 2-1、論文引用清單.....	8
表 3-1、工作項目表.....	9
表 3-2、成員分工表.....	10
表 3-3、具體成果表.....	11

一、專題目的與重要性

1.1 研究背景

隨著電子商務的快速發展，網路購物已成為現代消費者的主要購物方式之一。然而，服飾類商品因無法實際試穿，消費者在線上選購時常面臨三大核心問題：

（一）搭配困難：消費者缺乏即時且精準的穿搭建議，難以判斷不同衣物之間是否協調。

（二）尺寸不確定性：網購無法試穿，導致退貨率居高不下，增加商家營運成本。

（三）缺乏真實的物理視覺參考：現有電商平台多以靜態圖片展示，而目前市面上的 AI 虛擬試穿技術多侷限於 2D 影像生成，無法真實呈現布料受重力影響的垂墜感，也無法精準反映服飾撐在不同體型上的物理緊繃程度。

1.2 研究目的

為突破現有 2D 虛擬試穿的技術瓶頸，本專題目標建立一套「基於雙軌資料管線與伺服器端物理模擬之 3D 虛擬試穿系統」。具體目的如下：

（一）建構雙軌自動化上架與推薦管線：開發一套商家端管理系統，在商品上架時同步將 2D 圖片進行多模態特徵萃取與 3D 公版幾何參數綁定，實現前端使用者的毫秒級穿搭檢索與推薦。

（二）導入參數化 3D 體型建模：結合人體建模技術，系統能根據使用者輸入之身高及三圍參數，動態生成符合其真實體態比例的專屬 3D 網格人偶。

（三）實現服飾幾何校正與物理尺寸還原：透過伺服器端的幾何演算法，將 3D 服飾公版依據真實尺寸表進行頂點拉伸微調，並利用 UV 映射技術完美貼合 2D 商品照，解決缺乏 3D 商品模型的痛點。

（四）整合伺服器端物理模擬與跨平台展示：將高耗能的布料碰撞與重力下墜運算交由伺服器處理，並烘焙為輕量化動態檔案回傳。讓使用者能於前端介面流暢地進行 360 度多視角檢視，觀察最真實的尺寸鬆緊與物理穿著效果。

1.3 研究重要性

根據 Grand View Research 市場研究報告，全球虛擬試穿（Virtual Try-On）技術市場規模於 2024 年約達 113.8 億美元，並預期於 2030 年成長至 464.2 億美元，顯示市場對此類技術的需求持續擴大。

有別於多數專題僅停留在串接現成 AI 生成 API 的應用層面，本專題深入探討 3D 網格幾何運算、前後端資料流分離、以及伺服器端物理引擎的落地實作。這不僅大幅提升了虛擬試穿的真實度與尺寸精準度，有效增強消費者購物決策信心，其兼具高效能與跨平台展示的系統架構，更為服飾電子商務提供了一套具備極高技術門檻與商業應用潛力的解決方案。此外，本研究所提出之運算與渲染分離架構，亦可延伸應用於其他需要高成本 3D 模擬之互動系統，例如虛擬展示、數位時尚等應用。

二、方法與步驟

2.1 系統架構概覽

本系統揚棄傳統高延遲的 2D 生成式管線，改採「雙軌資料預處理」與「運算渲染分離」之高效能架構。系統底層採用 Python 與 Flask 建構後端微服務，並以 MySQL 關聯式資料庫與 FAISS 向量資料庫進行資料管理。

整體流程分為離線與即時兩端：在「商家上架（離線端）」階段，系統自動完成 AI 特徵萃取與 3D 幾何服飾建構；在「使用者查詢（即時端）」階段，前端傳送身材參數後，伺服器動態生成專屬 3D 人偶，並執行布料物理碰撞演算，最終將動態結果回傳至前端網頁或 App 中呈現。

本系統採用 Server-side Simulation 與 Client-side Rendering 架構，由伺服器負責 3D 人體生成、服飾幾何校正及布料物理模擬等高成本運算，並將結果烘焙為 .glb 動態檔案；前端則負責載入模型與提供互動展示，以兼顧模擬真實性、跨平台相容性及操作流暢度。

本系統採用之四大核心模組如下：

模組一：雙軌資料管線與多模態推薦（FashionCLIP + FAISS + MySQL）

模組二：參數化 3D 體型生成（SHAPY + SMPL-X）

模組三：3D 服飾幾何校正與材質映射（Python 幾何與 UV 處理）

模組四：伺服器端物理模擬與前端互動展示（物理引擎 + Three.js）

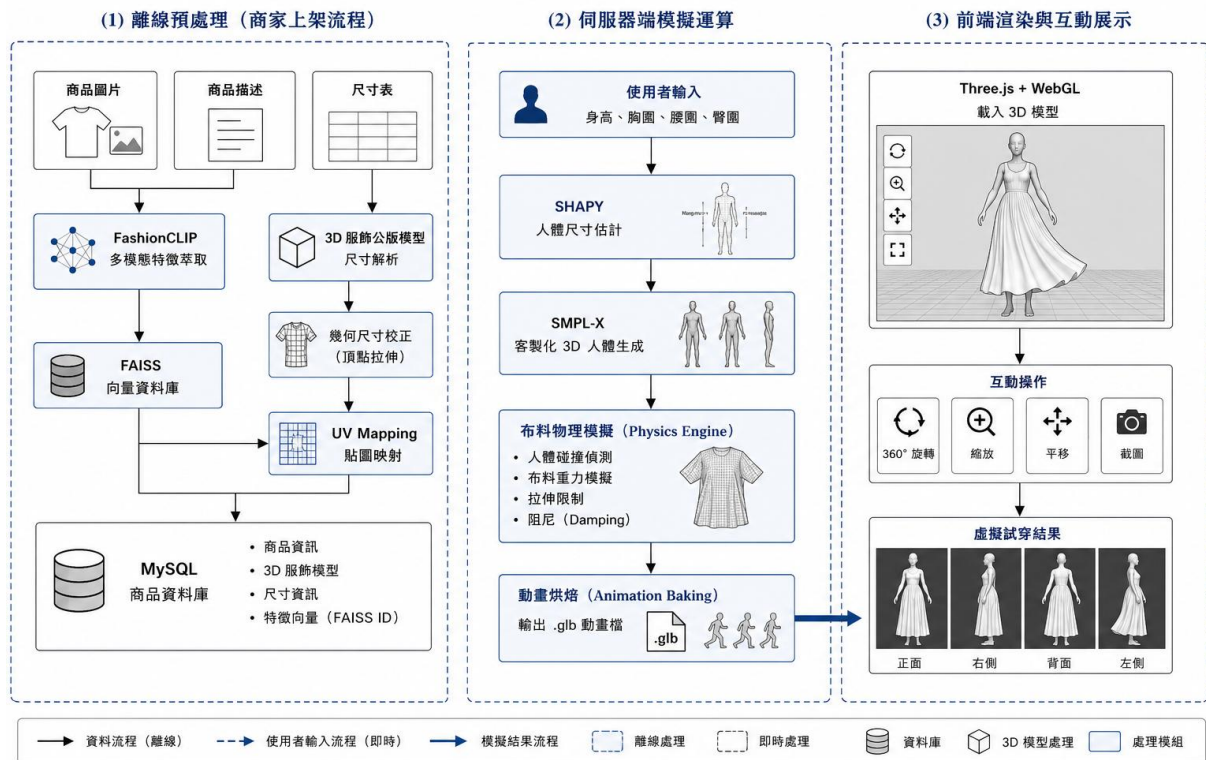


圖 2-1、系統整體流程圖

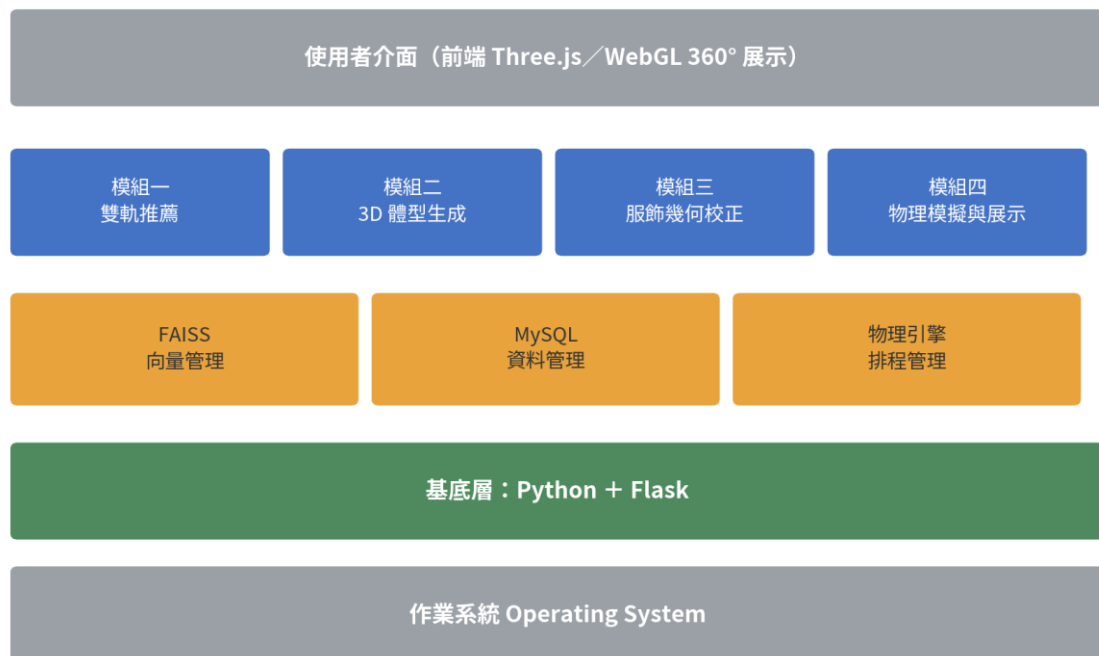


圖 2-2、系統軟體堆疊圖

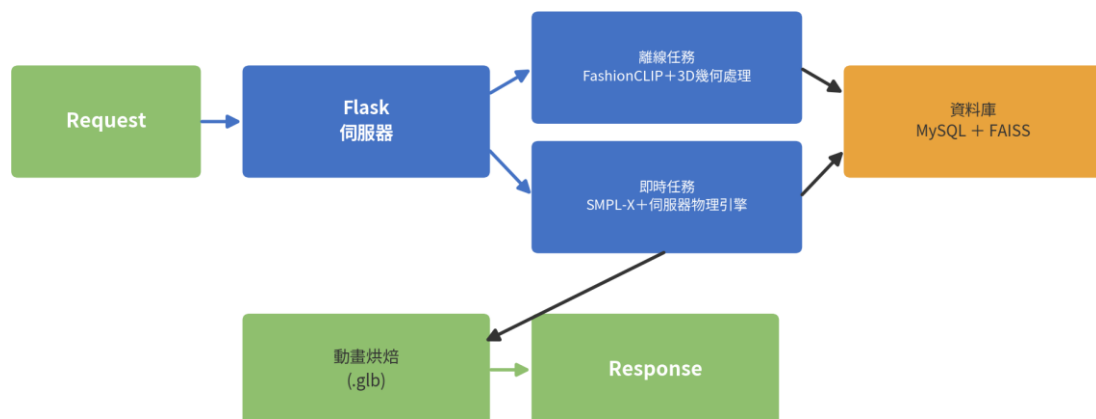


圖 2-3、後端架構圖

2.2 模組一：雙軌資料管線與多模態推薦

為確保使用者檢索的即時性，本模組在商家上架服飾時，將資料處理拆分為雙軌並行：

特徵向量萃取（軌道一）：系統接收 2D 商品照與文字描述後，採用 FashionCLIP 進行多模態特徵推論，生成高維度特徵向量並存入 FAISS 向量資料庫中，支援毫秒級的圖片與文字相似度檢索。

實體資產建檔（軌道二）：將商品的類別標籤與公版尺寸表寫入 MySQL 資料庫，並與特徵向量 ID 綁定，作為後續 3D 服飾建構的資料基礎。

2.3 模組二：參數化 3D 體型生成

為解決 2D 試穿無法反映真實體態的痛點，本模組透過後端即時推算專屬的 3D 幾何人偶。

體態參數輸入：使用者於前端介面輸入客觀之身材參數（身高、胸圍、腰圍與臀圍）。

形狀權重計算與變形：系統後端採用 SHAPY [5]技術概念，將測量值轉換為對應的 SMPL-X [4]形狀參數（ β 參數矩陣）。演算法將權重套用至標準的 3D 人體網格上，瞬間計算頂點偏移量，生成具備使用者真實比例的三維人偶。

2.4 模組三：3D 服飾幾何校正與材質映射

本模組為解決「廠商僅提供 2D 圖片」之技術挑戰，建立自動化的服飾 3D 化前處理管線。

公版載入與尺寸校正：系統自動載入對應的 3D 服飾公版網格，Python 演算法讀取尺寸表，精準拉伸公版模型的特定頂點群組（如衣長、肩寬），確保 3D 衣服的物理比例與真實商品一致。

UV 材質映射：透過 UV Mapping 技術，將商品照片中的紋理、圖案與顏色資訊映射至校正後的 3D 網格，使建立出的 3D 模型在保持真實尺寸比例的同時，也能保留原商品外觀，降低重新製作 3D 材質的成本。

2.5 模組四：伺服器端物理模擬與前端互動展示

為避免龐大的 3D 運算拖垮使用者裝置效能，本模組落實「運算與渲染分離」。

伺服器端物理演算：當使用者點擊試穿時，後端物理引擎將模組三產生的「3D 衣服」套用至模組二產生的「客製化 3D 人偶」上，動

態計算衣服撐在人體網格上的碰撞偵測與垂墜張力。本系統物理模擬主要考慮布料與人體之間的碰撞偵測、重力下垂、布料拉伸限制及阻尼等參數，使服飾能呈現較符合真實穿著狀態的物理效果。

動畫烘焙（Baking）：伺服器將短暫的物理擺動過程記錄為網格頂點動畫，打包成輕量化的 .glb 動態檔案回傳。

前端跨平台渲染：前端採用基於 WebGL 的 Three.js 載入 .glb 動態檔案，使用者無須消耗本地算力，即可流暢地進行 360 度多視角旋轉檢視。

2.6 論文引用清單

本系統各模組所參考之關鍵文獻整理如表 2-1 所示。

表 2-1、論文引用清單

#	論文	發表	在本系統中的角色
1	Grand View Research	市場報告 2025	1.3 節市場數據來源
2	Chia, P. J. et al. (FashionCLIP)	Sci Rep 2022	多模態特徵萃取基礎
3	Marqo-FashionCLIP	2024	模組一實際採用之升級版（支援中文）
4	Pavlakos, G. et al. (SMPL-X)	CVPR 2019	SMPL-X 原始論文，模組二體型建模 核心依據
5	Choutas, V. et al. (SHAPY)	CVPR 2022	測量值→SMPL-X 參數轉換，模組二 採用
6	Baraff, D. & Witkin, A.	SIGGRAPH 1998	布料碰撞與重力垂墜物理模擬之經典 理論基礎，模組四採用
7	Zhu, H. et al. (DeepFashion3D)	ECCV 2020	3D 服飾重建背景參考資料集，模組三 引用

三、預期完成工作項目與具體成果

3.1 工作項目

表 3-1、工作項目表

項次	工作項目	說明
1	雙軌上架系統建置	開發商家上架介面，整合 FashionCLIP 特徵萃取與 MySQL/FAISS 雙軌資料庫儲存邏輯。
2	3D 參數化人偶生成	開發後端 Python 演算法，實作 SMPL-X 形狀參數矩陣推算，動態輸出 .glb 客製化人偶。
3	幾何校正與材質映射	建立 3D 公版服飾庫，撰寫 Python 腳本處理頂點拉伸（尺寸校正）與 2D 照片 UV 映射。
4	伺服器端物理模擬	導入後端物理引擎（如 PyBullet/Blender API），設定軟體/剛體碰撞，並實作動畫烘焙技術。
5	前端跨平台整合	採用 Three.js/Flutter 建構具備 OrbitControls 旋轉功能之 3D 展示介面與非同步 API 串接。
6	系統測試與優化	測試任務佇列 (Task Queue) 排程穩定度、物理引擎效能優化與記憶體管理。
7	文件與論文	系統說明文件、期末簡報、專題論文撰寫。

3.2 成員分工

本表為目前初步規劃，實際分工將依組員討論結果調整。

表 3-2、成員分工表

成員	負責模組	工作內容
組員 A	後端架構與資料庫設計	雙軌資料庫 (MySQL/FAISS) 建置、商家上架系統 API 開發、任務佇列排程管理。
組員 B	3D 幾何演算法與物理引擎	SMPL-X 體型參數轉換、3D 服飾頂點變形演算法開發、伺服器端物理碰撞參數調校與動畫烘焙。
組員 C	前端 3D 渲染與跨平台整合	FashionCLIP 推薦介面實作、Three.js / WebGL 渲染畫布建置、3D 動態檔案解析與系統 UI 整合。

3.3 具體成果

表 3-3、具體成果表

成果項目	說明
雙軌上架管理系統	可自動將商家 2D 商品與規格表，轉化為高維特徵向量與標準 3D 網格之自動化後台。
3D 幾何試穿系統	支援精準尺寸輸入，能反映衣服尺碼差距與真實布料下垂感之 3D 物理試穿平台。
流暢的前端展示	具備低延遲、支援多視角 360 度旋轉檢視之跨平台 Web/App 應用介面。
系統效能評估	評估系統推薦延遲、3D 人體生成時間、物理模擬時間、GLB 檔案大小、前端載入時間、平均 FPS 與 API 回應時間，作為系統效能分析依據。
專題論文與簡報	包含 3D 幾何演算法分析、系統效能評估指標之完整研究報告與成果發表投影片。

四、預定進度表（甘特圖）

4.1 預定進度表

計畫期間：2026 年 7 月～2027 年 6 月（共 12 個月），預計各項工作於 2027 年 3 月前完成系統開發，其後進行整體功能測試與專題報告撰寫，5 月至 6 月保留為緩衝期間。

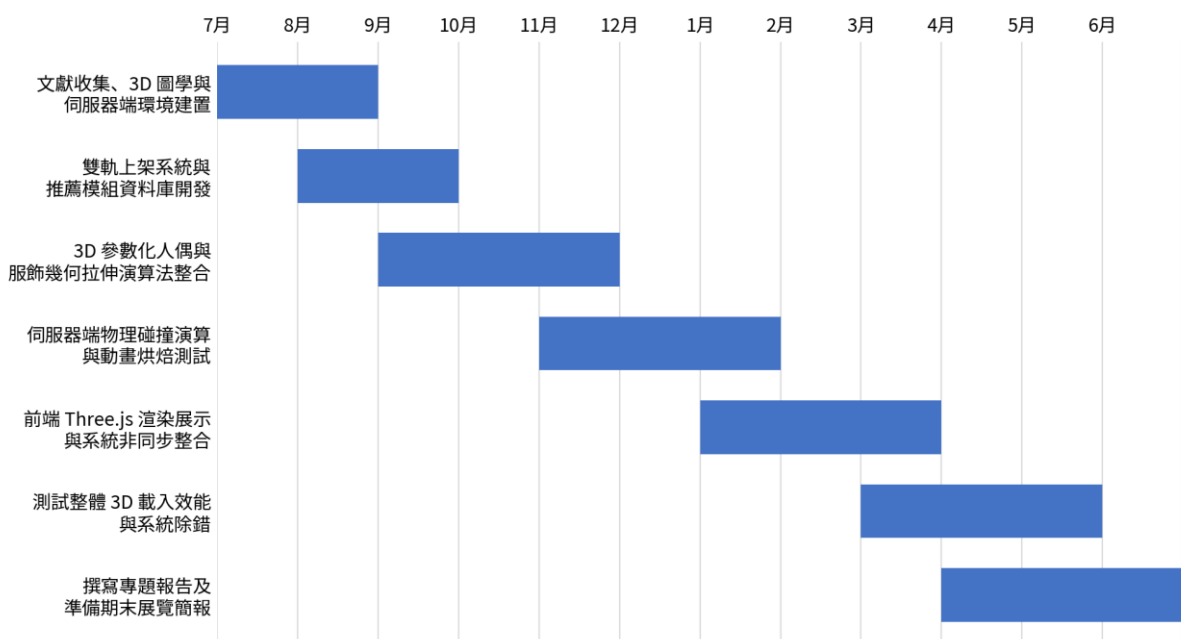


圖 4-1、預計工作項目與時間

五、指導老師建議

老師建議：

指導老師簽名：_____

日期： 年 月 日

參考資料

[1] Grand View Research (2025)

"Virtual Try-On Market Size, Share & Trends Analysis Report"

Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/virtual-try-on-market-report>

[2] Chia, P. J. et al.

"Contrastive language and vision learning of general fashion concepts"

Scientific Reports (2022)

Available: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-23052-9>

[3] Marqo (2024)

"Marqo-FashionCLIP"

支援中文之升級版 FashionCLIP

Available: <https://github.com/marqo-ai/marqo-FashionCLIP>

[4] Pavlakos, G. et al.

"Expressive Body Capture: 3D Hands, Face, and Body from a Single Image"

CVPR 2019

Available: <https://arxiv.org/abs/1904.05866>

[5] Choutas, V. et al.

"Accurate 3D Body Shape Regression using Metric and Semantic Attributes"

CVPR 2022

Available: <https://arxiv.org/abs/2206.07036>

[6] Baraff, D. & Witkin, A.

"Large Steps in Cloth Simulation"

SIGGRAPH 1998

Available: <https://www.cs.cmu.edu/~baraff/papers/sig98.pdf>

[7] Zhu, H. et al.

"Deep Fashion3D: A Dataset and Benchmark for 3D Garment Reconstruction"

ECCV 2020

Available: <https://arxiv.org/abs/2003.12753>

[8] Three.js Documentation.

Available: <https://threejs.org/>

[9] Flask Documentation.

Available: <https://flask.palletsprojects.com/>

[10] J. Johnson, M. Douze and H. Jégou

"Billion-scale similarity search with GPUs,"

IEEE Transactions on Big Data, 2019.

Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8733051>