

Disseny i desenvolupament d'un prototip de guants intel·ligents per a la captura de gestos en llenguatge de signes

Segon informe

1. Introducció

Aquest document té com a objectiu presentar una proposta detallada per al desenvolupament del Treball de Fi de Grau (TFG). El projecte es centra en la translació del moviment (gestos del llenguatge de signes espanyol) recollit amb guants intel·ligents a un model 3D. La solució proposada pretén oferir una eina que faciliti la comunicació de persones sordmudes, permetent-les interactuar amb persones que no dominen el llenguatge de signes. A més, si el temps ho permet, es contempla la possibilitat d'integrar aquest projecte amb el TFG del company Sergio López Parejo (NIU 1634093) per extreure els signes del model 3D i interpretar-los amb un sistema d'intel·ligència artificial, traduint així els gestos a llenguatge verbal.

2. Informació Preliminar

El projecte neix a partir de la necessitat de desenvolupar eines tecnològiques inclusives que afavoreixin la comunicació per a persones amb discapacitat auditiva. S'ha realitzat una revisió de l'estat de l'art i consultat informació procedent de diverses fonts especialitzades. Alguns exemples poden ser repositoris de GitHub amb projectes relacionats amb el seguiment de mans i la modelització 3D[4][5][7][8][9][10][11], així com informació tècnica sobre components electrònics (Arduino, Raspberry Pi) i sistemes de captació de moviment (per exemple, Ultraleap[3]). Aquestes fonts han estat fonamentals per justificar les eleccions tecnològiques i el programa de treball proposat.

3. Objectius del TFG

Els objectius principals del projecte han passat a ser:

- Traslladar el moviment a un model 3D: Capturar els gestos realitzats amb un únic guant i representar-lo en un model 3D de forma fidel i en temps real.
- Integració amb intel·ligència artificial: Establir el format de sortida de les dades que permeti integrar aquesta informació amb el TFG del company Sergio, per a l'extracció i interpretació automàtica dels signes a través d'IA.
- Facilitar la comunicació: Proporcionar una eina que permeti a persones sordmudes comunicar-se amb individus que no dominen el llenguatge de signes.

4. Planificació del Projecte

La planificació del projecte continua similar a la inicial. Actualment es divideix en les següents fases amb la seva corresponent estimació temporal:

Fase	Descripció	Durada
Anàlisi de factibilitat i recerca preliminar	Realitzar una avaluació detallada dels requisits tècnics, econòmics i temporals, identificant les possibles limitacions i oportunitats del projecte.	1 setmana
Selecció i adquisició de components electrònics	Buscar, comparar i adquirir els components necessaris per a la implementació del sistema (guants intel·ligents, microcontroladors com Arduino[1], Raspberry Pi[6], sensors, etc.).	2 setmanes
Investigació d'entorns de modelització 3D	Investigar les plataformes de modelització 3D disponibles, escollint aquella que ofereixi la millor compatibilitat i facilitat per a la integració de les dades recollides pels guants.	2-3 setmanes
Creació model 3D	Crear/importar un model 3D de mans i implementar el rigg necessari per realitzar els moviments pertinents.	2 setmanes
Construcció y programació d'un guant	Unió dels diferents components y programació del microcontrolador.	2-3 setmanes
Integració dades d'entrada (Guant) amb el model 3D	Integració de les dades generades pels guants amb el model 3D de les mans..	3-5 setmanes
Exportació i formalització del format de dades	Exportació i validació de les dades per a la seva utilització en el model de ML.	1 setmanes

5. Seguiment de la planificació

5.1 Primer informe:

En termes generals, el projecte s'està desenvolupant segons el que es va establir en la planificació inicial. Fins ara, s'han complert els terminis marcats per a cada fase i el ritme de treball s'està mantenint adequadament.

Actualment em trobo realitzant la fase inicial de construcció i programació dels guants. Aquesta tasca s'està duent a terme dins del termini previst, i els avenços aconseguits fins ara indiquen que el desenvolupament segueix el rumb correcte.

Cal destacar també que, de moment, no s'ha produït cap desviació significativa respecte al calendari establert. Per tant, continuaré seguint la planificació tal com estava prevista, revisant de forma contínua l'evolució del projecte i adaptant-me si calgués per garantir l'assoliment dels objectius.

5.2 Segon informe:

Fins a la data, s'ha produït una desviació moderada respecte al calendari previst: inicialment, a aquestes alçades del projecte, s'esperava tenir ambdós guants totalment construïts i completament integrats a l'entorn Unity, però únicament s'ha finalitzat la fabricació d'un sol guant. Pel que fa a la integració de dades d'entrada amb el model 3D, la major part funciona correctament. Tanmateix, resta pendent implementar el trasllat de les dades de l'acceleròmetre de la IMU per reproduir el desplaçament en l'espai del guant al model 3D. A més, encara cal polir alguns paràmetres de funcionament dins de Unity, com ara la sensibilitat de rotació del model en resposta al moviment del guant i la velocitat de flexió dels dits perquè coincideixi amb la resposta física del dispositiu.

D'altra banda, atès el temps restant fins a la data de lliurament, he hagut de reorientar la fase d'exportació i formalització del format de dades. En comptes d'enviar la informació via Bluetooth a un dispositiu mòbil (on entra en joc el TFG del meu company), he implementat l'exportació dels valors a un fitxer Excel. Aquest document recull les posicions i orientacions de cadascun dels "òssos" que conformen la mà, de manera que es pot recrear una seqüència completa de moviment a partir de les dades obtingudes. Aquest enfocament, més àgil en la fase final, em permet tenir la disponibilitat dels resultats i facilitarà l'anàlisi posterior d'aquestes dades en el temps que resta.

Per aquest motiu, no serà possible realitzar la darrera fase d'integració total amb el TFG del company Sergio López Parejo.

6. Metodologia

6.1 Primer informe:

Per a la implementació inicial d'aquest projecte, he adoptat un enfocament en el desenvolupament del model 3D i en la connexió i programació del microcontrolador per a la gestió de la informació procedent dels sensors dels guants.

En primer lloc, he importat i adaptat un model 3D d'una mà mitjançant Blender, on he realitzat una sèrie de modificacions per ajustar-lo als requeriments del projecte. Aquest model ha estat exportat en format FBX i, posteriorment, importat a l'entorn de desenvolupament 3D Unity, permetent la visualització i manipulació de la mateixa dins d'aquest entorn[2].

D'altra banda, s'ha realitzat una exhaustiva investigació en microcontroladors que comptessin amb un sensor IMU integrat i funcionalitat Bluetooth. Després d'analitzar diverses opcions, he arribat a la conclusió que la millor solució per aconseguir una connexió Bluetooth estable és l'ús d'un mòdul HC-05[12]. La raó principal d'aquesta elecció es deu al fet que, encara que les plaques Arduino permeten connexions BLE, no existeixen llibreries gratuïtes i efectives per a la integració directa amb Unity. Pel que fa a altres alternatives com alguns models de Raspberry Pi, tot i que poden establir connexions Bluetooth convencionals, no disposen d'un sensor IMU integrat. Amb aquests factors en compte, he optat per utilitzar una placa Arduino Nano 33 IoT, que a més de comptar amb sensor IMU integrat, permet realitzar la connexió Bluetooth serial mitjançant el mòdul HC-05.

A més, s'han adquirit diversos sensors flexibles de força resistiva, els quals seran utilitzats per determinar el grau de flexió de cadascun dels dits.

En aquesta fase inicial del projecte, el focus principal és la construcció i programació d'un únic guant. Un cop s'hagi validat i verificat correctament el seu funcionament, es procedirà amb la implementació del segon guant per tenir el sistema complet. A més, ja he aconseguit establir una connexió Bluetooth entre la placa Arduino i Unity, permetent la transmissió de les dades recollides pel sensor IMU cap a l'entorn de desenvolupament, fet que valida la viabilitat de la integració de tots els components.

6.2 Segon informe:

En primer lloc, just després del primer informe, vaig procedir a agrupar tots els elements per construir el guant per complet. Vaig utilitzar fil de cosir per subjectar una canellera sobre la qual està ubicada una placa protoboard amb totes les connexions (microcontrolador, IMU i sensors flexibles), amb el guant. Els únics components que no son directament a la protoboard són els sensors de força resistiva, que vaig enganxar amb cola universal després d'haver realitzat diverses proves per esbrinar la millor posició. En cada prova, comparava visualment a Unity com quedava reflectida la flexió de cada dit i seleccionava la ubicació òptima per a cada sensor.

Per tal d'ordenar els cables i evitar que pengessin lliurement, els vaig cosir al teixit del guant. A més, vaig establir un codi de colors per a una identificació ràpida durant el manteniment i la depuració: vermell per a l'alimentació, negre per a massa i un color diferent per a cada línia de senyal dels pins analògics.

Un cop el guant va estar completament muntat, vaig iniciar la integració de dades amb el model 3D.

Primer, vaig definir l'estructura del paquet que Arduino envia via Bluetooth per port sèrie al PC.

Aquest té la següent forma:

AX:ax,AY:ay,AZ:az,GX:gx,GY:gy,GZ:gz,FLEX1:f1,FLEX2:f2,FLEX3:f3,FLEX4:f4,FLEX5:f5,#

On ax, ay, az i gx, gy, gz són els valors d'acceleració i gir del IMU, i f1...f5 els valors de cada sensor flexible. El caràcter “#” delimita el final de cada paquet.

A Unity, he desenvolupat un script que obre el port sèrie de manera asíncrona, llegeix cada paquet i l'emmagatzema en un buffer. Paral·lelament, quan el buffer no està buit, s'extreu un paquet i es processa cada camp per traslladar-lo al model 3D. Aquest paral·lelisme es gestiona amb dos threads gràcies a la llibreria threading de Unity.

Per la rotació (giroscopi), aplico un filtre adaptable que permet ajustar la sensibilitat de rotació del model (encara en fase d'afinació per determinar el valor òptim).

Pel que fa als sensors flexibles, realitzo una interpolació per assignar la flexió a cada un dels tres ossos de cada dit (proximal, medial i distal). Cada os està ponderat perquè es pugui adaptar la quantitat de rotació segons el valor del sensor. S'ha de tenir en compte que els sensors disponibles no mesuren independentment la flexió de cada os del dit.

En un intent de mesurar això de millor forma, he provat a mesurar la flexió de cada dit amb dos sensors flexibles, un a sobre y un altre sota el dit. No obstant no he trobat que aportí millors resultats.

Finalment, per facilitar l'anàlisi de dades, he creat un script addicional que, llegeix la posició i rotació de cada os del model en temps real mentre es mou el guant, i desa aquests valors en un fitxer Excel. A més, he implementat un últim script que carrega aquest Excel i reproduïx fidelment la seqüència de moviments, amb un control de reproducció ajustable (més lent, més ràpid o a velocitat real).

Aquest mòdul final em permet validar i analitzar les seqüències registrades, de tal manera que es pot comprovar que les dades que es recullen (i que idealment s'enviarien a un dispositiu mòbil) són correctes.

Resultats

Fent servir un guant completament construït, s'ha aconseguit representar de forma fiable la rotació de la mà en totes les direccions i la flexió individual de cada dit. Actualment, qualsevol gest que comporti aquest tipus de moviments, es pot traslladar al model 3D amb un grau de fidelitat satisfactori, encara que caldrà afinar els paràmetres de filtre i ponderació per garantir la màxima fiabilitat en totes les condicions d'ús.

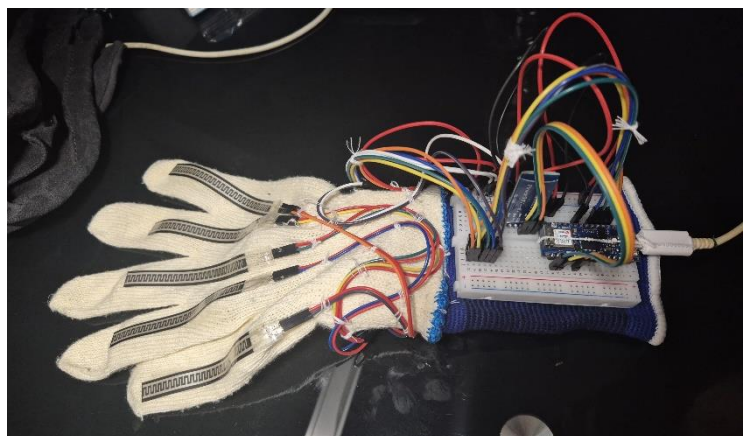
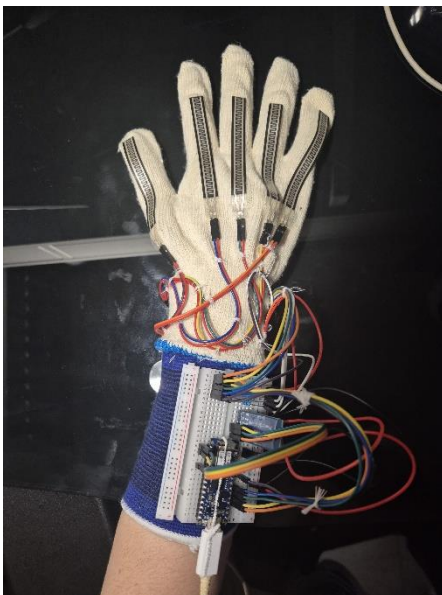
S'han mesurat també els temps d'enviament i processament de dades:

- Enviament de paquets (Arduino → PC via Bluetooth): mitjana de 116 ms, amb una desviació màxima de ± 20 ms.
- Procés i trasllat a Unity (lectura del buffer i actualització del model): mitjana de 117 ms.

Aquests valors gairebé coincideixen, la qual cosa indica que la latència total està determinada per la velocitat d'enviament dels paquets. Pel que fa a percepció humana, s'estima que un retard inferior a 100 ms és pràcticament imperceptible; amb els nostres valors al voltant de 116–117 ms, el retard podria notar-se lleument en moviments molt ràpids, però en la majoria de gestos quotidians es percep com a quasi temps real.

Finalment, s'ha desenvolupat la funció d'enregistrament en Excel que captura la posició i rotació de cadascun dels ossos del model 3D mentre es mou el guant. Això permet reproduir seqüències de moviment completes, tan llargues com duri l'execució, amb precisió mil·limètrica. L'estructura d'aquest fitxer consisteix en les coordenades de posició *lpx*, *lpy*, *lpz* i rotació *lrx*, *lry*, *lrz* de cada articulació de la mà, dits i avantbraç).

A continuació es mostren unes fotografies del guant ja muntat, per tal de visualitzar l'aspecte final de la configuració de components i cablejat:



Conclusió provisional

Fins ara, el projecte ha demostrat la seva viabilitat com a prototip funcional de guant intel·ligent per al reconeixement de gests. Per qüestions de temps i recursos, i atès que el comportament d'ambdós guants és equivalent, el desenvolupament s'ha centrat en un sol dispositiu com a prova de concepte. No obstant això, s'ha aconseguit representar amb fidelitat la rotació de la mà i la flexió de cada dit.

A més, s'ha demostrat mitjançant la reproducció de les dades capturades, que aquestes dades es podrien enviar a un model de aprenentatge computacional per interpretar-les de forma coherent.

Tot i així, els resultats encara són provisionals i queden aspectes pendents d'optimització. Cal afinar els filtres de gir i la interpolació de flexió per garantir una resposta més consistent en tots els gestos, i implementar finalment el desplaçament de la mà en l'espai, complementant la rotació actual. Un cop integrat aquest component, el mateix prototip (amb un segon guant) podria fer front a una part significativa del repertori de signes de la llengua de signes.

Paral·lelament, després d'extensives proves i una revisió bibliogràfica, s'ha conclòs que la visió per computador ofereix un enfocament més complet per traduir la totalitat dels signes, ja que permetria captar tant la posició com la forma de la mà de manera més precisa i individualitzada. Malgrat això, s'ha de tenir en compte que part de l'objectiu era oferir un producte funcional que permetés a les persones sordmudes comunicar-se còmodament i sense haver de gravar-se o posar més passes a fer entre elles y la persona o persones amb qui es vulgui comunicar.

En resum, el prototip actual estableix una base tècnica robusta sobre la qual continuar treballant, tant en la millora de la fiabilitat de la rotació, flexió i futur desplaçament com en l'optimització de la transmissió i processament de dades.

7. Bibliografía

- [1] “Arduino Hardware”. Arduino - Home. Accedido el 20 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.arduino.cc/en/hardware#nano-family>
- [2] “¿Qué es el rigging en animación 3D y cómo funciona? | UNIR”. UNIR. Accedido el 6 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.unir.net/revista/ingenieria/rigging-3d-animation/>
- [3] “Digital worlds that feel human | Ultraleap”. Digital worlds that feel human | Ultraleap. Accedido el 2 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.ultraleap.com/>
- [4] “My First Robotics Project ”. GitHub. Accedido el 16 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://github.com/EymoLabs/eymos/wiki/My-First-Robotics-Project-🤖>
- [5] “GitHub - FORTH-ModelBasedTracker/HandTracker: 3D Hand Tracking using input from a depth sensor.” GitHub. Accedido el 13 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://github.com/FORTH-ModelBasedTracker/HandTracker>
- [6] “Raspberrypi”. Accedido el 20 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.raspberrypi.com/products/>
- [7] “GitHub - freemocap/freemocap: Free Motion Capture for Everyone ”. GitHub. Accedido el 15 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://github.com/freemocap/freemocap>
- [8] “GitHub - IntelRealSense/hand_tracking_samples: :ok_hand: research codebase for depth-based hand pose estimation using dynamics based tracking and CNNs”. GitHub. Accedido el 16 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: https://github.com/IntelRealSense/hand_tracking_samples/tree/master
- [9] “GitHub - LucidVR/lucidgloves: Arduino/ESP32 based DIY VR Haptic gloves. Compatible with SteamVR via OpenGloves.” GitHub. Accedido el 15 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://github.com/LucidVR/lucidgloves>
- [10] C. Rus. “Este guante permite traducir el lenguaje de signos en tiempo real”. Xataka - Tecnología y gadgets, móviles, informática, electrónica. Accedido el 1 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.xataka.com/wearables/este-guante-permite-traducir-lenguaje-signos-tiempo-real>
- [11] “GitHub - zju3dv/EasyMocap: Make human motion capture easier.” GitHub. Accedido el 17 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://github.com/zju3dv/EasyMocap>
- [12] “Módulo Bluetooth HC-05 compatible con Arduino. BricoGeek HC-05-BT | BricoGeek.com”. Tienda de Electrónica Robótica Arduino y Raspberry Pi | BricoGeek.com - BricoGeek.com. Accedido el 1 de abril de 2025. [En línea]. Disponible: https://tienda.bricogeek.com/modulos-bluetooth/800-modulo-bluetooth-hc-05.html?srsId=AfmBOorMjuVlvkErvpPfs_CjcVHnSwSiTCoHNYgj3rpzhzFgeOxSoQKL

[13] UNIVERSO RE-BOOT. *Conectar Unity con Arduino usando Bluetooth | ¿Cómo conectar usar el módulo HC-05 con Unity?* (28 de julio de 2021). Accedido el 3 de abril de 2025. [Video en línea].

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