

---

This is the **published version** of the bachelor thesis:

Serracanta Llamazares, Àlex; Codina Barberà, Marc , dir. Implementació d'algorismes IA sobre dades de sensors per prevenir les úlceres de pressió. 2024. (Enginyeria Informàtica)

---

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/290110>

under the terms of the  license

# Implementació d'algorismes IA sobre dades de sensors per prevenir les úlceres de pressió

Alex Serracanta Llamazares

**Resum**— Aquest treball d'investigació se centra en la implementació d'un sistema avançat de prevenció d'úlceres per pressió, utilitzant un llit mèdic motoritzat. Situant aquest projecte en l'avantguarda de la intersecció entre enginyeria, intel·ligència artificial i atenció mèdica amb la finalitat d'oferir solucions innovadores per a pacients amb mobilitat reduïda. El sistema incorpora una càmera CMOS d'alta resolució i una càmera d'infrarojos, juntament amb un sensor de pressió en forma de llençol. Tots aquests components es troben connectats a una plataforma embedded. Els objectius clau del projecte són la interconnexió de les càmeres, la implementació d'algoritmes d'intel·ligència artificial per trobar els punts de pressió i la comunicació entre la plataforma embedded i els motors del llit. Els resultats els quals mostren que tot i haver-hi situacions complexes es poden estimar correctament els punts de pressió i moure el llit mèdic en funció d'aquests per a prevenir les úlceres per pressió.

**Paraules clau**— Úlceres per pressió (UPP), Intel·ligència Artificial (IA), estimació posició humana (HPE), Càmera Infraroja (IR), conjunt de dades SLP, estimació punts de pressió.

**Abstract**— This research focuses on the implementation of an advanced pressure ulcer prevention system using a motorized medical bed. Placing this project at the forefront of the intersection between engineering, artificial intelligence, and medical care to provide innovative solutions for patients with reduced mobility. The system incorporates a high-resolution CMOS camera and an infrared camera, along with a pressure sensor in the form of a sheet. All these components are connected to an embedded platform. The key objectives of the project include the interconnection of cameras, the implementation of artificial intelligence algorithms to identify pressure points, and communication between the embedded platform and the bed's motors. The results demonstrate that, despite complex situations, pressure points can be accurately estimated, and the medical bed can be moved based on these to prevent pressure ulcers.

**Index Terms**— Pressure ulcers (UPP), Artificial Intelligence (AI), human position estimation (HPE), Infrared Camera (IR), SLP dataset, estimate pressure points.



## 1 INTRODUCCIÓ - CONTEXT DEL TREBALL

HISTÒRICAMENT, l'atenció mèdica es basava en el tractament de les malalties una vegada ja eren presents al pacient. Tanmateix, durant les últimes dècades, hem presenciat un canvi de paradigma cap a la prevenció i l'atenció proactiva d'aquestes malalties. Aquest canvi posa tant èmfasis en una detecció primerenca d'aquestes malalties com el monitoratge continu dels estats mèdics d'aquesta. En l'àmbit de l'atenció mèdica i la cura de pacients, la tecnologia ha experimentat una gran evolució durant els últims temps, exercint un paper cada vegada més important en la millora de la qualitat de vida. Aquesta transformació ha estat impulsada per una combinació de grans avenços científics, la gran disponibilitat de recursos tecnològics i un enfocament cada vegada més gran i personalitzat en la salut del pacient. Sistemes d'informació clínica, dispositius mèdics intel·ligents o l'aplicació de tècniques d'intel·ligència artificial han esdevingut aliats molt importants per oferir cures més efectives als pacients.

Tenint en compte aquest context, el present treball de final de grau pretén aprofundir en un projecte innovador i altament rellevant que té com a objectiu primordial la prevenció d'úlceres per pressió en pacients amb mobilitat reduïda. Fent ús i combinant tant d'intel·ligència artificial, l'enginyeria i l'atenció mèdica de metges i infermeres. Aquest sistema que es desenvoluparà constarà d'un sofisticat llit medicalitzat, una càmera CMOS d'alta resolució, una Càmera IR de baixa resolució i junt amb un sensor de pressió en forma de llençol. A més d'un potent computador embedded basat en el chip IMX8+. Per a poder prevenir les úlceres per pressió fent moure els motors del llit mèdic quan es requereixi tenint en compte l'algoritme IA que hi haurà implementat al sistema embedded. Així, aquest projecte no només simbolitza una evolució en el tractament de les malalties, sinó també una revolució en la manera en què concebim i implementem la prevenció de problemes de salut crítics.

## 2 ESTAT DE L'ART

Aquest projecte utilitza diverses tecnologies que han de ser esmentades, d'aquesta manera podem justificar el seu ús dintre el marc d'aquest projecte. Actualment, les càmeres d'alta resolució disposen de dues

- E-mail de contacte: alex.serracanta@autonoma.cat
- Menció realitzada: Enginyeria de Computadors
- Treball tutoritzat per: Marc Codina Barberà (Dpt. de Microelectrònica i de Sistemes Electrònics)
- Curs 2023/24

tecnologies diferents, CCD o CMOS, aquesta segona tecnologia permet una millor qualitat d'imatge amb un menor preu de producció i menor consum d'energia [1]. Les càmeres CMOS són molt versàtils i s'utilitzen en una àmplia varietat d'aplicacions, des de les investigacions científiques fins a la producció de contingut multimèdia.

Aquestes càmeres disposen d'una velocitat de captura d'imatges en temps real alta i són compatibles amb l'electrònica moderna [2]. En el nostre cas la funcionalitat que tindrà dintre el sistema es basa a poder corroborar quina és la postura del pacient per comparar-la amb la imatge capturada per l'altre càmera IR, ja que per temes de privacitat associada als pacients no es poden prendre imatges on es pugui reconèixer a la persona. Amb la comparació podrem assegurar la posició del pacient correctament respectant la seva privacitat.

La tecnologia de càmeres IR té aplicacions en els camps civil, industrial i sanitari. Dintre aquest marc sanitari en el qual ens trobem s'aplica a la detecció, prevenció i monitorització de lesions en la medicina esportiva [3]. Un altre cas pràctic d'aquestes aplicacions de la tecnologia és la que s'utilitza com a eina per a controlar el temps que es triga a començar a tenir dolors musculars i la seva recuperació en esports analitzant les diferents temperatures que té la pell quan estem en repòs i quan acabem de fer exercici físic [4]. O en animals també s'usa aquesta tecnologia, en el cas dels porcs a on ajuda a la identificació i tractament precoç de les úlceres de l'espatlla [5].

Respecte al sistema conjunt del llit mèdic amb una càmera IR, cal dir que aquesta tecnologia ja s'aplica en hospitals, però el seu ús es limita a monitoritzar les habitacions on es troben els pacients amb epilèpsia i així ajuden els metges a evitar ràpidament les possibles crisis [6]. En el nostre cas, l'ús d'aquest sistema és per monitoritzar la postura i en funció dels algorismes d'IA que es troben al nostre sistema integrat moure el llit mèdic. Un altre cas de sistema semblant és el format per un llit intel·ligent amb sensors incorporats a la base, que analitzen les dades periòdicament i ordenen als actuadors del llit que ajustin la posició segons els punts de pressió més crítics [7]. Aquesta posició del llit és molt important de cara a la prevenció d'aquestes úlceres. De manera que poder tenir un algoritme basat en imatges i l'historial del pacient pot ajudar a predir el moviment i evitar les úlceres [8].

Finalment, la tecnologia que acompanya als sensors de pressió pot ser molt diferent, des de sensors basats en efectes capacitius, piezoelèctrics o òptics. L'ús d'aquests sensors és molt variat avui dia, no obstant la utilització més propera que podem trobar són mapes de pressió en els seients, utilitzats per avaluar i documentar la pressió, la postura i el confort amb pacients en cadira de rodes [9][10]. Per al nostre sistema aquest sensor de pressió funcionarà de la mateixa manera perquè el pacient estarà estirat al llit i podrem obtenir un mapa de pressió diferent en cada posició en la qual es trobi el pacient.

### 3 OBJECTIUS

El nostre objectiu principal és poder interconnectar tots els elements del sistema de monitorització mèdic i garantir el

seu funcionament òptim. Però arran d'aquest objectiu principal han sorgit objectius complementaris com:

- Captura i gestió d'imatges càmera CMOS.
- Captura i gestió d'imatges càmera IR.
- Comparació imatge entre Càmera CMOS e IR.
- Integració dels sistemes de càmeres.
- Comunicació entre càmeres i plataforma embedded.
- Implementació d'algorismes IA a la plataforma embedded.
- Obtenir mapa de pressió del pacient.
- Comunicació entre plataforma embedded i motors del llit.
- Llaç de control per als moviments del llit.

### 4 METODOLOGIA I PLANIFICACIÓ

Pel desenvolupament d'aquest projecte s'ha decidit utilitzar una metodologia àgil perquè permet adaptar la forma de treball aconseguint flexibilitat i rapidesa. Dintre de les possibilitats el projecte es desenvoluparà fent servir la metodologia Kanban. Amb aquesta metodologia podrem tenir una visualització molt clara de les tasques i el punt a on es troben en el desenvolupament. Aquestes tasques podran estar en 3 estats diferents, bé siguin pendents, en procés o fetes. Per al tauler es farà servir trello, una eina online [11].

Respecte a la planificació inicial del projecte s'ha dissenyat el següent diagrama de gantt. La planificació del projecte consta d'un seguit de tasques que s'han agrupat segons els components del sistema sobre els quals tenen alguna implicació. Veure figura 1 de l'apèndix. I a mesura que aquestes es van completant es passa al següent component per tal d'acabar obtenint tot el sistema interconnectat i funcionant correctament. Les cinc grans agrupacions de tasques són les següents:

- Treball Previ: Aquesta fase del projecte està basada a recopilar informació tant de la tecnologia en què es basen els components com de fer una recerca exhaustiva de sistemes implementats amb algun d'aquests components. També es definiran els objectius del projecte.
- Integració Càmeres: En aquest punt les tasques inclouen tant la instal·lació física, la configuració de software, com la gestió de les imatges i les proves de funcionament adients per a corroborar el seu funcionament.
- Plataforma Embedded: En aquesta etapa, per una banda, les tasques es basen en la interconnexió de tots els components a la plataforma. Per altra banda, tenim l'algoritme de IA que cal instal·lar dintre la plataforma i fer proves de funcionament.
- Control del llit: En aquest punt totes estan relacionades a dissenyar i desenvolupar el software per al moviment del llit. Un cop estiguin aquestes tasques completades caldrà fer proves del moviment

per evitar úlceres.

- Documentació: En aquest darrer pas s'escriurà l'informe final i tots els aspectes rellevants que s'han realitzat durant aquest projecte. Així com tots els resultats obtinguts i una discussió de les conclusions resultants.

## 5 ENTORN DE DESENVOLUPAMENT

En aquesta secció s'explicarà tant l'entorn de treball utilitzat com les diferents eines utilitzats durant el projecte.

### 5.1 Entorn de desenvolupament

Com a entorn de desenvolupament s'ha utilitzat el Visual Studio Code [12]. Aquest editor de codi font desenvolupat per Microsoft és programari lliure i multi plataforma, també té una bona integració amb Git i compta amb suport per a la depuració de codi. A més de disposar d'una infinitat d'extensions per a poder escriure i executar en qualsevol llenguatge de programació.

### 5.2 Eines i llibreries

Per al desenvolupament de codi s'ha utilitzat el llenguatge de programació Python [13]. Concretament, la versió 3.9, s'ha emprat aquesta versió i no les darreres per temes de compatibilitat amb llibreries. Com a llibreries s'han utilitzat les següents:

- Open CV: Open Computer Vision és una llibreria de visió per computador open source. Aquesta llibreria va ser desenvolupada per Intel [14]. Disposa d'un gran nombre de funcions per al reconeixement de gestos, seguiment de moviment i processament d'imatges [15]. En el projecte s'ha utilitzat l'última versió, és a dir, la 4.8.0.
- Numpy: Aquesta llibreria és fonamental per a la computació científica a Python. Proporciona un objecte de matriu multidimensional, diversos objectes derivats i un gran nombre de funcions per fer operacions ràpides amb arrays i/o matrius. S'ha utilitzat la versió 1.26.1 d'aquesta llibreria [16].
- Time: Aquest mòdul ofereix diverses funcions relacionades amb el temps, entre les quals pots obtenir el temps local o aturar l'execució d'un programa durant un temps determinat. S'ha utilitzat la versió 3.12.0 [17].

Libusb: Aquesta llibreria proporciona accés genèric a dispositius USB, facilita la comunicació amb els dispositius hardware. Dona suport a tota classe de plataformes com Windows, Linux, Android o Solaris. S'ha fet servir la versió 1.0.26 [18].

- Pytorch: Biblioteca de tensors optimitzada per a l'aprenentatge profund mitjançant GPU o CPU. S'ha fet ús de la versió 2.1.2 amb acceleració per a GPU [19].

- Matplotlib: Llibreria completa per a visualitzar i representar dades estàtiques, dinàmiques o gràfiques. S'ha utilitzat la versió 3.8.2 [20].
- Skimage: mòdul que disposa d'una gran quantitat d'algoritmes per al tractament i processament d'imatges. S'ha fet ús de la versió 0.22.0 [21].

Com a eines addicional s'ha fet servir un analitzador de protocols i sniffer USB gratuït anomenat Free USB Analyzer. La raó principal d'aquesta eina ha estat poder veure quines trames es passaven exactament entre l'ordinador i la càmera IR quan executàvem el seu programa [22]. A més també s'ha utilitzat CUDA 11.8, que és un model de programació que permet augmentar el rendiment [23].

## 6 COMPONENTS DEL SISTEMA

En aquest apartat dedicat als components, desglossarem els blocs fonamentals que componen el nostre sistema i les seves característiques principals de cada un d'ells.

### 6.1 Càmera CMOS

Amb relació a aquesta càmera s'ha escollit el model brio ultra HD Pro de Logitech. Aquesta càmera és la millor i la més avançada de les càmeres web empresarials que te Logitech amb un preu de 280 euros. Com a característiques fonamentals d'aquest model trobem la qualitat de vídeo professional, els dos micròfons omnidireccionals amb supressió de soroll (no s'utilitza) i el camp diagonal expansiu. Ofereix una resolució des dels 720p a 90 fps fins a 4K ultra hd a 30 fps. A més de comptar amb un zoom de 5 ampliacions per als detalls. A part disposa d'una gran flexibilitat de camp visual diagonal. Aquest diagonal pot ser de 90,65 o 78 graus per una comunicació més enfocada [24].



*Il·lustració 1: Càmera web Brio Ultra HD Pro.*

### 6.2 Càmera IR

Per aquesta càmera s'ha seleccionat el conjunt d'aplicació de Heimann sensor. Aquest conjunt consisteix en un sensor de termopila HTPA muntada sobre una petita PCB amb processament de senyal i un microcontrolador integrat. El microcontrolador utilitzat pel Application set és de la família de PIC32MZ [25]. Aquest conjunt permet visualitzar les dades directament des del seu software a Windows. Per la matriu d'infrarojos de termopila s'ha escollit la de 120 x 84 píxels. Aquest model correspon a la lent de més alta gamma d'aquesta empresa. Amb un preu d'uns 360 euros aproximadament. Aquesta termopila té interfície

SPI per comunicar-se amb el microcontrolador, un ADC de 16 bits i una EEPROM integrada per a poder guardar les dades de calibració i dades obtingudes. A més disposa d'un alt rang de temperatures per a mesurar objectes i té un camp de visió de  $12 \times 9^\circ$  fins a  $120 \times 90^\circ$  [26].



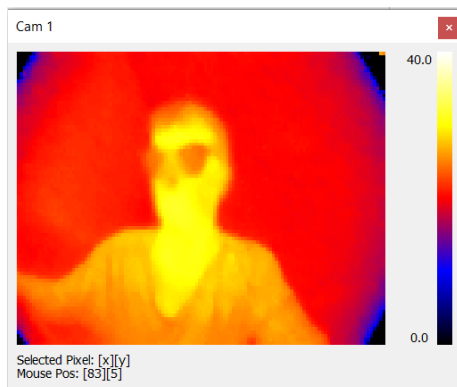
Il·lustració 2: Càmera IR de Heimann Sensor.

Un cop descarregat el programari d'aquesta empresa el que obtenim si connectem la placa a través de USB al ordinador és un menú per buscar dispositius via UDP o USB.



Il·lustració 3: Programari Heimann Sensor ArraySoft v2.

Si cliquem sobre el botó de buscar USB i un cop trobat el dispositiu comencem la mesura obtenim el següent, en aquest moment hi ha diverses opcions de configuració ja sigui filtrar el soroll, aplicar filtres FIR o IIR, canviar el color de representació de les temperatures o establir un rang de temperatures per mesurar entre d'altres. També es pot ajustar el rang de temperatura, per defecte és automàtic. El que obtenim amb el seu software és el següent:



Il·lustració 4: Exemple d'imatge obtinguda de la càmera IR.

### 6.3 Xip IMX8+

Com a Sistema embedded s'ha fet servir un xip de la família IMX8M. Aquesta família de processadors és centra en

la visió i aprenentatge automàtic, com en l'automatització industrial. Està format per 4 ARM Cortex-A53 i un ARM Cortex-M7. Disposa d'una NPU que lliura fins a 2.3 TOPS. També dona suport per a Linux, Android i FreeRTOS [27]. Té un preu d'uns 30 euros aproximadament.



Il·lustració 5: Xip IMX8+.

### 6.4 Manta de Pressió

Per a aquest component s'ha triat el kit per desenvolupadors anomenat Mattress Mat Dev Kit 2.0 de Sensing-Tex [28]. Aquest kit conté la manta sensorial, cable USB, una escuma protectora, una funda del matalàs i una bossa de transport. També permet crear moltes aplicacions, com ara el seguiment remot de la presència d'una persona, la postura i el moviment d'un usuari al llit o detectar zones perilloses de pressió que és la funcionalitat desitjada per al nostre projecte. La matriu resultant té una mida de 48 files per 144 columnes. Cada valor va des de 0 fins a 512 com a escala de representació numèrica de pressió. Actualment té un preu d'uns 2000 euros.



Il·lustració 6: Mattress Mat Dev Kit.

### 6.5 Llit mèdic

Per al llit mèdic s'ha escollit el model V-chair de l'empresa Control Live [29]. Aquest llit és la revolució respecte a model d'assistència a les persones amb mobilitat reduïda. Millora la qualitat de vida dels pacients i addicionalment millora la qualitat de vida dels cuidadors o infermers, ja que el llit facilita el moviment evitant lesions o sobreesforços mobilitzant al pacient. Aquest model de llit mèdic té un preu aproximat de 12.000 euros. Respecte al rang de moviments realitzables permet realitzar un gran nombre de moviments en funció de certes posicions preestablertes i a part podem configurar cada posició amb l'angle determinat que desitem.

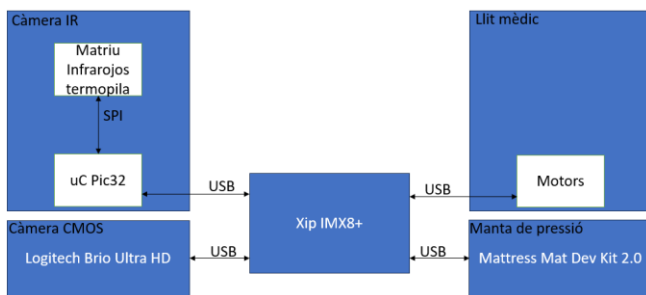
Aquestes posicions poden ser des de modificar l'altura del llit, al mode cadira, la posició Trandeleburg i la seva inversa (Anti-Trandeleburg), lateralització esquerra o dreta (costat esquerra o dret més inclinat que l'altre costat respectivament) o la posició corresponent a una V.



Il·lustració 7: Llit mèdic V-Chair.

## 7 DIAGRAMA DE BLOCS DEL SISTEMA

En aquest apartat es mostra el diagrama de blocs del sistema. En aquest diagrama cada bloc representa un component del sistema, mentre que les línies de connexió no només representen el protocol utilitzat sinó que també indiquen la direcció del flux de dades entre els diversos elements.



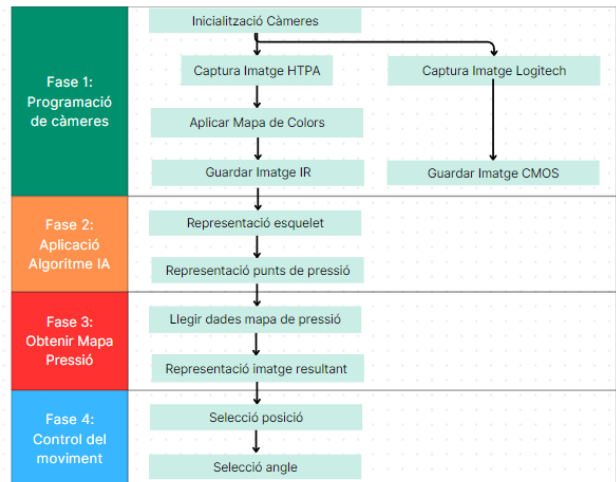
Il·lustració 8: Llit mèdic V-Chair.

Com es pot veure a la figura anterior tenim que totes dues càmeres es troben interconnectades amb el chip a través d'USB. Destacar també que la connexió entre la termopila i el microcontrolador es fa a partir de SPI. Les dues càmeres es troben enganxades a un suport de fusta amb silicona. Alhora aquest suport es troba enganxat a un altre suport que disposa el llit. Això ho fem així per tal que les dues càmeres estiguin enfocant a la mateixa posició indiferentment de quina sigui la posició del llit en aquell moment. Per una banda, el xip també està connectat per USB a la manta de pressió que té estirada al llit. Per altra banda, disposa d'una altra connexió via USB amb els motors del llit mèdic amb la finalitat de controlar-los. Respecte al preu per poder instal·lar aquest sistema és d'uns 14.670 euros, tenint en compte els preus actuals dels components que s'han utilitzat.

## 8 DESENVOLUPAMENT

El desenvolupament d'aquest projecte ha seguit un enfocament estructurat en quatre fases fonamentals. Inicialment, es va abordar la programació de les dues càmeres incloent la gestió de les imatges una vegada realitzada la captura, seguida de la interconnexió amb la plataforma embeded. Posteriorment, es va aplicar l'algoritme d'intel·ligència artificial per a obtenir els punts de pressió del

pacient. Llavors es fa obtenir el mapa de pressió i finalment es va dur a terme el control dels motors.



Il·lustració 9: Diagrama de flux del programa.

### 8.1 Programació de les càmeres

Envers la càmera Logitech s'ha programat un petit programa que utilitza la llibreria OpenCV per connectar-se al port associat a la càmera Logitech, configurar la resolució desitjada de la imatge, en aquest cas de 1920 x 1080 per poder veure tota la longitud del llit. Llavors accedim a la càmera fent una captura i guardem la imatge.



Il·lustració 10: Resultat obtingut de la càmera Logitech.

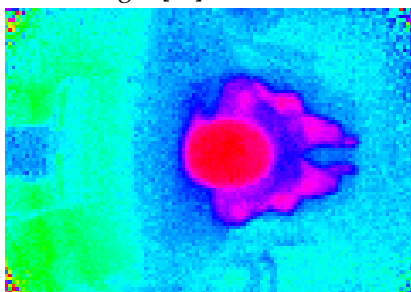
La primera aproximació amb la càmera IR que es va realitzar va ser desenvolupar un codi per comunicar-se amb la càmera via SPI, tenint en compte que al datasheet explicava que la comunicació era via SPI o UDP (si disposes del Application set adequat) a partir d'enviar-li certes cadenes de caràcters o directament un caràcter concret. Després haver desenvolupat ja el programa i veure que no funcionava es va provar una segona solució.

Aquesta solució es basava en la connexió directa de la termopila sobre una protoboard i connectar-la a través de SPI amb un arduino, de manera que en aquest plantejament estiguéssim connectant-nos directament sobre l'electrònica de la termopila. Aquesta segona solució tampoc va tenir èxit perquè no deixava modificar els registres per a poder començar la lectura de les temperatures corresponents.

Demantant més informació a l'empresa ens van passar el codi que utilitzava el Application set per comunicar-se amb l'aplicació. Analitzant aquest codi i mirant les trames enviades i rebudes del portàtil al sensor amb el sniffer de



USB vam aconseguir entendre que es comunicava via USB amb les comandes UDP que tenien en el datasheet corresponent. Llavors en aquest punt es va programar una funció fent ús de la llibreria libusb per a poder comunicar-se amb el sensor i enviar-li les comandes per a poder llegir les dades. Amb la finalitat d'acabar obtenint una matriu de píxels la qual és trans-forma en una imatge usant la llibreria de visió per computador. Cal tenir en compte que per poder accedir als endpoints de comunicació USB (buffer a un dispositiu USB) es va haver de donar permisos d'administrador al programa [30]. Una vegada llegits tots els píxels del sensor, això es converteix en una matriu i utilitzant la llibreria CV es va guardar la imatge. A aquesta imatge resultant se li aplica un mapa de colors HSV per a poder diferenciar i representar amb colors visibles les diferents temperatures de cada píxel capturat. La selecció d'aquest mapa de colors és perquè expressa la percepció de contactes de colors més clara que RGB, fent que faci ús de molt en el processament d'imatges [31].



Il·lustració 11: Resultat obtingut del HTPAD.

Un cop obtingudes les dues imatges si fem la comparació de la il·lustració nova amb la 10, tenint en compte que el llit està en la posició preestablerta d'una cadira. Analitzant la posició i agafant l'eix Y com a eix de simetria podem veure que la posició del pacient en les dues imatges és idèntica. Per tant, aquesta primera etapa de desenvolupament s'ha assolit satisfactòriament.

## 8.2 Aplicació algoritme IA

En aquesta segona fase l'objectiu és poder trobar els punts de pressió a la qual està sotmès el pacient al llit. Per a aconseguir aquests punts de pressió s'ha seguit el següent procés:

1. Entrenament d'una xarxa neuronal a partir del model HRpose del SLP.
2. Inferència de la imatge per a obtenir l'esquelet i detectant aquelles articulacions clau.
3. Utilitzar algoritme per a poder aconseguir els punts de pressió i representar els resultats.

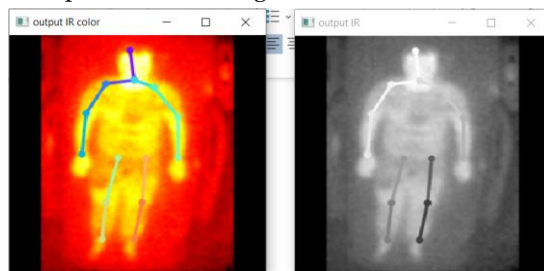
### 8.2.1 Entrenament xarxa Neuronal

En aquest punt s'ha entrenat a una xarxa neuronal a partir del model HRpose de SLP [32]. Aquesta xarxa ha utilitzat les imatges IR que té el dataset SLP [33] com a entrenament. El pacient en aquestes imatges pot estar destapat, tapat amb una manta prima o cobert amb un llençol gruixut. Cal esmentar que totes les imatges IR d'aquest dataset estan representades amb escala de grisos i 8 bits cada píxel, és a dir, el valor màxim que podem obtenir és de 255. A més la mida d'aquestes imatges és de 120 píxels d'amplada

per 160 píxels d'alçada.

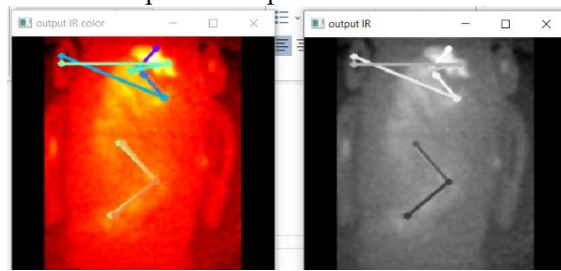
### 8.2.2 Obtenció esquelet

Prèviament a fer la inferència de la imatge obtinguda sobre el model entrenat, s'ha considerat necessari realitzar una neteja del soroll de la imatge IR. Això és així perquè la imatge original té una mida reduïda i si no filtrem el soroll tindria un gran impacte no desitjat en les posteriors fases d'avaluació. Passem d'una mida inicial de la imatge original de 120x84 píxels a una mida 95x 65 píxels. Un cop retallada i convertida a la resolució fixada pel model que es de 120x160 píxels se li ha aplicat una normalització de 8 bits. A més també s'ha dut a terme una rotació per a tenir les mateixes orientacions de les imatges del dataset. En aquest punt doncs ja tenim tant la imatge preparada per la inferència com el model. Per a fer aquesta inferència cal carregar el model HRpose, carregar també el model amb extensió .pth de la fase prèvia d'entrenament i avaluar-lo. Amb el que obtenim el següent resultat:



Il·lustració 12: Resultats avaluació del model HRpose.

Primerament, cal comentar que la posició en què es troba el pacient és una sedestació low fowler amb roba, correspon a una inclinació d'uns 15-30 graus del capçal del llit. A partir d'aquesta consideració es pot veure que a la sortida tenim la imatge original obtinguda en escala de grisos, com la imatge a la qual se li aplica un mapa de colors per observar millor el resultat. A on en tots dos casos es dibuixa per sobre l'esquelet format per 14 punts, on cada punt representa una articulació clau com pot ser el genoll, el colze o el maluc. A més aquesta fase depèn directament de la posició del llit perquè hi ha certes posicions com la de cadira que no s'arriba a veure el cos sencer dificultant doncs el fet de poder obtenir la representació completa de l'esquelet de manera exacta. Un altre dificultat que hi ha en l'obtenció de l'esquelet és quan el pacient es troba cobert amb un llençol o amb una manta, ja que fa doncs que la càmera IR només sigui capaç de representar el cap com en la imatge final. A continuació doncs es mostra la dificultat comentada anteriorment. En aquesta situació trobem al pacient en la posició de decúbit lateral dreta tapat amb un llençol. Com a resultat de l'esquelet en aquest cas s'obté:



Il·lustració 13: Resultat avaluació HRpose amb llençol.

Com es pot observar en aquest cas l'esquelet no correspon a la posició del pacient. Això es perquè el llençol evita que es capturi correctament la temperatura corporal de cap en avall. Com a conseqüència d'aquest impediment tenim que la temperatura mitja dels píxels capturats es menor. A causa d'aquest motiu quan l'algoritme de IA troba que les cantonades del llit estan a una temperatura superior respecte el cos humà estableix que aquest articulació.

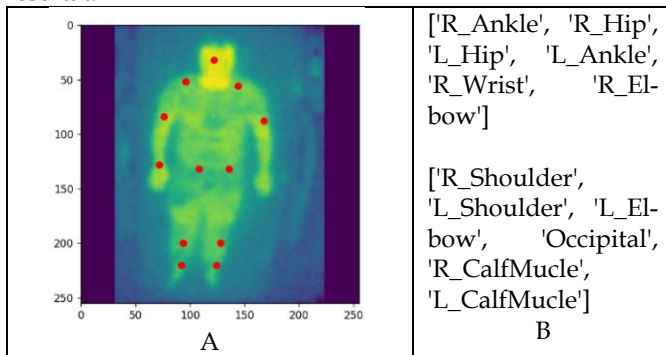
En canvi, el llençol no suposa un gran impediment a l'hora de trobar els punts de pressió del tren inferior, ja que en aquesta situació és igualment capaç de trobar correctament els punts de pressió de les cames. Fent que el resultat obtingut respecte a la representació de l'esquelet sigui parcialment correcte. La part superior del cos hi ha articulacions que difereixen de la posició del pacient mentre que la part inferior representen perfectament la posició del pacient.

### 8.2.3 Obtenció dels punts de pressió

Un cop obtingut l'esquelet del pacient aplicarem un algoritme per a ser capaçs de detectar els punts de pressió. L'algoritme va ser utilitzat l'any passat per un altre estudiant [34]. Aquest algoritme es basa en tres fases:

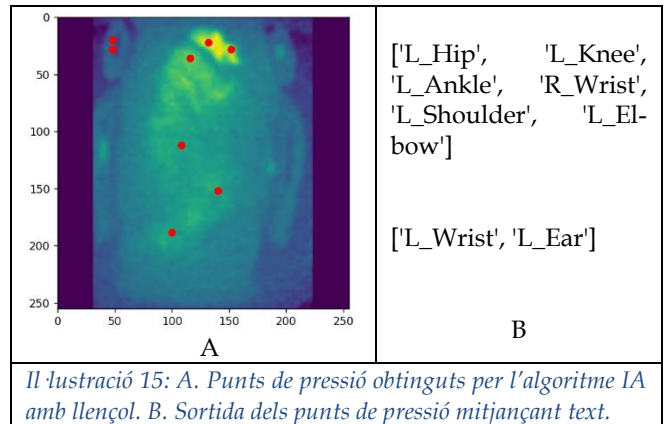
1. Predicció de la posició a la qual es troba el pacient.
2. Determinació de la relació de cada punt de pressió amb les articulacions clau.
3. Identificació novament dels punts de pressió combinant els passos anteriors.

Aplicant doncs aquest algoritme s'ha obtingut el següent resultat:



Il·lustració 14: A. Punt de pressió obtingut per l'algoritme IA amb roba. B. Sortida dels punts de pressió mitjançant text.

Com es pot observar a la figura anterior els punts en vermell corresponen als punts de pressió. A més la sortida de l'algoritme també ens diu mitjançant text quins són aquells punts de pressió obtinguts a partir de la imatge capturada. Segons els resultats doncs podem dir que el pacient té dotze punts de pressió corresponent a colzes, Occipital, espatlles, malucs, etc. Ara bé, en aquells casos en què els resultats de l'esquelet no representin una posició viable del pacient fa que l'establiment dels punts de pressió sigui complexa. Aquest cas correspon als resultats obtinguts a partir de la il·lustració 13. Si obtenim els punts de pressió a partir de l'esquelet:



En aquest cas el pacient té assignats 8 punts de pressió. Si mirem el resultat dels punts a la imatge podem observar com n'hi ha dos situats fora del cos del pacient. Aquests dos punts corresponen a la part superior esquerra del llit mèdic. Per tant aquests dos punts de pressió no tenen cap mena de sentit que estiguin situats en aquesta posició. Aquests dos punts mirant el text de sortida representen tant en canell esquerra com el dret, tot i estar situats a la posició en la que es troben. Descartant aquests dos punts, els sis restants si que corresponen a punts de pressió corresponent a la posició determinada del pacient.

De manera que comparant els resultats obtinguts entre la posició del pacient sense res que el cobreixi i amb el pacient cobert amb un llençol podem concloure que la fase dos, és a dir, l'obtenció de l'esquelet és crítica per a obtenir els punts de pressió. Si aquest requisit no es compleix com el cas del pacient cobert amb el llençol podem veure que la representació dels punts no és correcte en alguns casos. Això fa que aquesta representació final sigui parcialment correcte i hi hagi certs punts de pressió que no s'han de considerar com a tal.

### 8.3 Mapa de pressió

En aquesta fase de desenvolupament s'ha confeccionat un programa per a poder llegir les dades del mapa de pressió situat cobrint el llit mèdic. Les dimensions d'aquest mapa són de 48 files i 144 columnes. Un cop obtingudes les dades s'han representat en una matriu per fer una representació en forma d'imatge, amb l'objectiu d'intentar obtenir una visualització d'aquelles zones on hi hagi més pressió en comparació amb les altres. Aquesta imatge també es troba en escala de grisos. Aquesta representació es pot observar a continuació:



Il·lustració 16: Representació dades obtingudes del Sensing Mat.



Com es mostra a la il·lustració 16 aquesta és la representació de les dades obtingudes de la manta de pressió. Ara el que és necessari és comprar els punts de pressió aconseguits per l'algoritme IA amb el resultat del mapa de pressió.

A l'escala de grisos el color blanc representa una pressió més alta en comparació al negre i al gris. Per tant, es pot veure que els bessons són un punt de pressió i el cap també. Ara bé, en els colzes i les espatlles es veu una escala inferior de blanc en comparació amb els altres dos punts anteriors, però es poden continuar considerant punts de pressió. Fins aquest punt no hi ha cap mena de problema en corroborar els punts de pressió amb el mapa. La complicació ve quan entrem a la zona dels malucs, que es pot afirmar que no hi ha cap escala de blancs, per tant, el mapa de pressió no considera aquests punts com a crítics mentre que l'algoritme de IA sí. Això doncs suposa un problema, però que es pot solucionar si quan apareixen aquestes situacions d'incertesa li donem més pes als resultats obtinguts per l'algoritme IA, ja que ha pogut obtenir els punts de pressió i esquelets corresponents a moltes més imatges i posicions de pacients diferents. Addicionalment, cal dir que hi ha vegades a on la representació obtinguda de les dades del mapa de pressió no correspon amb la posició amb la que es troba situat el pacient.

#### 8.4 Control dels motors del llit mèdic

Per a aquesta fase final de desenvolupament el que s'ha fet ha estat un programa que realitza una comunicació sèrie amb els motors del llit mèdic. Aquesta comunicació permet que el metge o persona responsable del llit li envii una trama als motors del llit perquè es posin en la posició determinada per al professional per a evitar l'aparició d'úlceres. Les dades d'aquesta trama depenen de la comanda a executar. Aquesta comanda disposa de dos inputs, el primer és la posició preestablerta a la qual es vol moure el llit, per exemple la posició de cadira o de low fowler. El segon és l'angle desitjat de la posició del llit, sempre que aquesta posició permeti diferents angles per ajustar-se.

En aquest punt ja acabat el desenvolupament, el procés que segueix el sistema seria mirar i capturar les imatges, corroborar que la persona es troba en aquella posició, fer la inferència de la imatge IR i esperar els resultats. Un cop obtinguts els resultats i comparats amb els resultats del mapa de pressió sabríem si s'ha de realitzar algun tipus de moviment al llit o no. En cas afirmatiu doncs el que caldria enviar seria la comanda amb la posició del pacient. Aquest procés doncs s'hauria de repetir periòdicament cada cert interval de temps per evitar les úlceres.

## 9. CONCLUSIONS

En conclusió, aquest treball ha demostrat que el sistema funciona correctament una vegada feta la interconnexió i la programació de tots els seus components, es a dir, som capaços de prevenir les úlceres en pacients de mobilitat reduïda. Els resultats obtinguts demostren que es factible obtenir tant l'esquelet del pacient a partir de la posició del llit

com trobar els punts de pressió associats a l'esquelet. I a partir d'aquests fer el moviment del llit.

No obstant no tots els resultats obtinguts en quan als punts de pressió han sortit correctament. Hi ha certes posicions del llit que els resultats obtinguts no corresponen a un esquelet humà, com es el cas de la cadira. Si això li sumem que el pacient pot estar cobert amb un llençol o una manta gruixuda fa que sigui complicat poder trobar tots els punts de pressió d'una manera correcta.

### 9.1 Treball futur

Es per aquest motiu que com a futurs treballs es pot tractar d'optimitzar aquells casos on la sortida no correspon a un esquelet humà i com a conseqüència els punts de pressió no corresponen a la realitat. Això es podria aconseguir o refinant l'algoritme IA i com calcular aquests punts o intentant obtenir un millor model d'entrenament amb més imatges de diferents posicions del llit.

Una altre opció que es pot realitzar es fer una calibració de la càmera IR, trobant aquella millor configuració per a obtenir una bona imatge per fer la inferència a partir de tots els paràmetres que es poden modificar.

## AGRAÏMENTS

Primerament vull donar les gràcies al meu tutor del projecte, el Marc Codina per donar-me l'oportunitat de realitzar aquest treball. A més de tot el procés de supervisió i guia durant les diferents fases. També vull mencionar al Jordi Carabina per l'oportunitat de donar-me una beca per la realització d'aquest projecte al centre de Prototips i Solucions Hardware-Software (CEPHIS) al departament de Microelectrònica i Sistemes Electrònics de la UAB.

En segon lloc vull donar les gràcies tant a l'empresa Heiman Sensor com a Control Live per a tot el temps que han dedicat a resoldre dubtes i per tots els recursos que han aportat al projecte.

Finalment, donar les gràcies a la meua família que sempre m'han ajudat i donat suport en tot moment al llarg d'aquest projecte.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Luštica, "CCD and CMOS image sensors in new HD cameras," Proceedings ELMAR-2011, Zadar, Croatia, 2011, pp. 133-136.
- [2] R. Hain, C. J. Kähler y C. Tropea, "Comparison of CCD, CMOS and intensified cameras", Exp. Fluids, vol. 42, n.º 3, pp. 403-411, enero de 2007.
- [3] I. Fernández-Cuevas, J. Arnáiz Lastras, V. Escamilla Galindo y P. Gómez Carmona, "Infrared Thermography for the Detection of Injury in Sports Medicine", en Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering. Cham: Springer Int. Publishing, 2016, pp. 81-109.
- [4] Da Silva, W., Pivetta, F., Rosario, M., & Palmer, S. (2023). Federal University of Pampa Multicentric Gradu-Ate Program In Physiological Sciences Univer-Sitat De València Doctoral Programme In Phys-iology Infrared Thermography As A Tool For Monitoring Delayed Onset Muscle Soreness, Muscle Damage, And Recovery In Sports Doctoral Thesis Presented By. Roderic.Uv.Es.
- [5] Staveley, L.M.; Zemitis, J.E.; Plush, K.J.; D'Souza, D.N. "Infrared Thermography for Early Identification and Treatment of Shoulder Sores to Improve Sow and Piglet Welfare". Animals 2022, 12, 3136.
- [6] "Unidad de Monitorización de Epilepsia | HM CINAC Barcelona". HM Nou Delfos, Tu Hospital en Barcelona. <https://www.hmnoudeflos.com/es/especialidades/unitats/epilepsia/unidad-monitorizacion-epilepsia>
- [7] R. Yousefi et al., "A smart bed platform for monitoring & Ulcer prevention," 2011 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), Shanghai, China, 2011, pp. 1362-1366.
- [8] R. Yousefi et al., "Bed posture classification for pressure ulcer prevention," 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Boston, MA, USA, 2011, pp. 7175-7178.
- [9] "BodiTrak2 Pro - Rehagirona". Rehagirona. <https://www.rehagirona.com/products/mapa-presiones-boditrak2-pro/>
- [10] I. Eitzen, "Pressure mapping in seating: a frequency analysis approach", Arch. Physical Medicine Rehabil., vol. 85, n.º 7, pp. 1136-1140, julio de 2004.
- [11] «Manage your team's projects from anywhere», Trello.com. <https://trello.com/home>.
- [12] Microsoft. "Visual Studio Code - Code Editing. Redefined". Visual Studio Code - Code Editing. <https://code.visualstudio.com/>
- [13] "Python España". Python España. <https://es.python.org/>
- [14] "OpenCV: Introduction", Opencv.org. <https://docs.opencv.org/4.8.0/d1/dfb/intro.html>.
- [15] V. M. Arévalo, J. González, y G. Ambrosio, "LA LIBRERÍA DE VISIÓN ARTIFICIAL OPENCV APLICACIÓN A LA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN", Uma.es. <https://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/arevalo2004lva1.pdf>
- [16] NumPy documentation – NumPy v1.26 manual", Numpy.org. <https://numpy.org/doc/stable/index.html>.
- [17] "time – Time access and conversions", Python documentation. <https://docs.python.org/3.12/library/time.html>.
- [18] «Libusb», Libusb.info. <https://libusb.info/>.
- [19] «PyTorch documentation – PyTorch 2.1 documentation», Pytorch.org. <https://pytorch.org/docs/stable/index.html>.
- [20] «Matplotlib – visualization with python», Matplotlib.org. <https://matplotlib.org/>.
- [21] «scikit-image: Image processing in Python – scikit-image», Scikit-image.org. <https://scikit-image.org/>.
- [22] HHD Software, «FREE USB Sniffer & Software USB Protocol Analyzer for Windows», Freeusbalyzer.com. <https://freeusbalyzer.com/>.
- [23] «CUDA Toolkit 11.8 Downloads», NVIDIA Developer. <https://developer.nvidia.com/cuda-11-8-0-download-archive>.
- [24] «Cámara web Logitech BRIO», Logitech.com. <https://www.logitech.com/es-es/products/webcams/brio-4k-hdr-webcam.960-001106.html>.
- [25] «Infrared array development support - Heimann sensor», Heimannsensor.com. <https://www.heimannsensor.com/development>.
- [26] «120x84 thermopile array for thermal imaging - Heimann», Heimannsensor.com. <https://www.heimannsensor.com/120x84>.
- [27] «i.MX8M Plus», Nxp.com. <https://www.nxp.com/products/processors-and-microcontrollers/arm-processors/i-mx-applications-processors/i-mx-8-applications-processors/i-mx-8m-plus-arm-cortex-a53-machine-learning-vision-multimedia-and-industrial-iot:IMX8MPLUS>
- [28] «Mattress Mat Dev Kit 2.0», Sensing Tex. <https://sensingtex.com/product/mattress-mat-dev-kit-2-0/>.
- [29] «Cama inteligente convertible en silla», Control-live.com. <https://www.control-live.com/cama-inteligente-convertible-silla.php>.
- [30] mhopkins-msft, «USB endpoints and their pipes», Microsoft.com. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/usbcon/usb-endpoints-and-their-pipes>.
- [31] L. Shuhua and G. Gaizhi, "The application of improved HSV color space model in image processing," 2010 2nd International Conference on Future Computer and Communication, Wuhan, China, 2010, pp. V2-10-V2-13.
- [32] S. Ostadabbas, SLP-Dataset-and-Code: Simultaneously-Collected Multimodal Lying Pose Dataset: Towards In-Bed Human Pose Monitoring under Adverse Vision Conditions (TPAMI 2022). <https://github.com/ostadabbas/SLP-Dataset-and-Code>
- [33] «SLP dataset for multimodal in-bed pose estimation», Northeastern.edu. <https://web.northeastern.edu/ostadabbas/2019/06/27/multimodal-in-bed-pose-estimation/>.
- [34] Zhang, Rongrong; Carrabina Bordoll, Jordi, dir. Aplicación de técnicas IA a sensorización FLIR para camas robotizadas para evitar úlceras. 2023. (Enginyeria Informàtica) <https://ddd.uab.cat/record/280722>

**Figura 1. Planificació inicial del projecte**

