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

Samó Rojas, Joan Marc. *NOVA : Disseny i implementació d'un robot domèstic autònom basat en ROS 2*. Treball de Final de Grau (Universitat Autònoma de Barcelona), 2026 (Enginyeria Informàtica)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/334471>

under the terms of the  license.

NOVA: Disseny i Implementació d'un Robot Domèstic Autònom basat en ROS 2

Joan Marc Samó-Rojas

Resum— Aquest treball presenta NOVA, un robot domèstic amb forma de guineu orientat a la interacció natural amb l'usuari, la supervisió de l'entorn i la privacitat de les dades. El sistema s'ha dissenyat a partir d'una arquitectura dual formada per una Raspberry Pi 4 situada al cap, encarregada de la interacció amb l'usuari, i una NVIDIA Jetson Orin situada al cos, encarregada del processament principal, la percepció, la navegació i la comunicació amb la plataforma web. El projecte prioritza el processament local de la informació, especialment en tasques com la detecció de paraula d'activació, la transcripció de veu, la percepció visual i l'emmagatzematge de dades personals. També s'han integrat sensors com LiDAR, IMU, ToF, GNSS i sensors ambientals, a més d'un sistema de telemetria i control remot mitjançant una plataforma web pròpia. Els resultats obtinguts mostren que l'arquitectura proposada és viable i permet construir una base funcional, modular i extensible, tot i que la locomoció quadrúpede i la navegació autònoma completa queden com a línies principals de continuació del projecte.

Paraules clau— Robot domèstic, ROS 2, arquitectura distribuïda, Raspberry Pi, NVIDIA Jetson, LiDAR, SLAM, interacció per veu, privacitat, telemetria, robot quadrúpede.

Abstract—This work presents NOVA, a fox-shaped domestic robot designed for natural user interaction, home environment monitoring and data privacy. The system is based on a dual architecture composed of a Raspberry Pi 4 located in the head, responsible for user interaction, and an NVIDIA Jetson Orin located in the body, responsible for the main processing, perception, navigation and communication with the web platform. The project prioritizes local data processing, especially for wake word detection, speech transcription, visual perception and personal data storage. Several sensors have also been integrated, including LiDAR, IMU, ToF, GNSS and environmental sensors, together with a telemetry and remote-control system through a custom web platform. The obtained results show that the proposed architecture is viable and provides a functional, modular and extensible base, although complete quadruped locomotion and autonomous navigation remain as the main future work lines.

Index Terms— Domestic robot, ROS 2, distributed architecture, Raspberry Pi, NVIDIA Jetson, LiDAR, SLAM, voice interaction, privacy, telemetry, quadruped robot.



1 INTRODUCCIÓ

ACTUALMENT podem veure com cada vegada és mes comú que hi haguí gent que passi molta estona sola a casa seva i també cada vegada més sentim a parlar de la intel·ligència artificial i tot el que farà per nosaltres, i també sentim a parlar de la pròxima revolució industrial que ens ve amb la robòtica.

I tot això quina relació té? Dons molt fàcil gracies a les últimes tecnologies en LLM i EDGE-IA és molt mes factible poder crear un robot que sigui intel·ligent, que no es mes que sàpiga que li passa al seu voltant, podent identificar persones, objectes i mes coses.

El meu TFG consisteix en construir un robot en forma d'animal quadrúpede, inspirant-me en la forma d'una gui-

neu, que sigui capaç d'interaccionar amb les persones a través d'un LLM i sigui capaç de mapejar les diferents estànries d'una llar per tal de poder en un futur mouràs de forma autònoma i poder donar tot el suport a les persones que necessiten un animal de companyia per vigilar una persona gran, uns nens o simplement per fer-te companyia i sentir que tens algú amb qui passa les estones.

2 OBJECTIUS

2.1 Objectiu principal

El principal objectiu és aconseguir crear una plataforma robòtica quadrúpede que sigui capaç de caminar i obtenir dades dels múltiples sensors que te instal·lats, també es molt important que aconseguixi connectar amb les persones que te al seu voltant.

2.2 Objectiu secundaris

Els objectius secundaris però igualment d'importants d'aquest TFG són:

- Dissenyar una arquitectura capaç de processar les

- E-mail de contacte: joanmarcsamo@gmail.com
- Menció realitzada: Enginyeria de Computació
- Treball tutoritzat per: Fernando Luis Vilarinho Freire (Departament de Ciències de la Computació)
- Curs 2024/25

dades dels sensors i tenir un LLM corrent en local.

- Implementar tot el recorregut de captació de veu, processament i generació de veu sintètica de forma totalment local i que sigui capaç de processar veus en català, anglès i castellà.
- Integrar percepció visual per al seguiment de cares, reconeixement d'usuaris i detecció d'emoions, i tot executat localment.
- Implementar navegació bàsica amb mapeig 2D mitjançant LiDAR i SLAM, integrat dins el framework ROS 2 [9].
- Integrar un LLM híbrid (local + núvol sota consentiment), amb context del robot i accions permeses.
- Garantir la privacitat per sobre de tot, ja sigui amb emmagatzemament local xifrat, i cap dada biomètrica ni multimèdia pujada al núvol sense permís explícit de l'usuari.
- Connectar el robot al meu propi servidor i mes concretament a la web de <https://europeerobotics.jmprojects.cat> per a la telemetria en temps-real, control remot i visualització de mapes.

2.3 Abast i limitacions

El projecte cobreix el disseny complet del sistema, des de el disseny 3D de tot el robot fins al desenvolupament del software. Això es tradueix en que hi ha múltiples sistemes que s'han hagut de tractar molt per sobre ja que el TFG té una limitació en temps força gran per aquest motiu el sistema de moviment i navegació autònoma només es farà una mostra de com quedarà el sistema i fins on pot arribar en el temps invertit en la construcció del robot.

També s'ha de tenir en compte que no es farà cap validació de seguretat per a ús amb persones vulnerables.

3 ESTAT DE L'ART

3.1 Robots comercials intel·ligents

Actualment en el mercat ens trobem amb múltiples opcions de les quals vull destacar Unitree GO [1] i Spot de Boston Dynamics [2], sobre el de Unitree té un tamany i cost molt similar però el que li passa que és el mateix que el Spot és que no garanteix la seva privacitat i no té una forma agradable per poder generar aquesta connexió tant necessària per ajudar a reduir la sensació de soledat.

En el cas del Spot el seu principal problema és el cost ja que estem parlant d'un robot d'uns 70.000 €, quedaria descartat directament per ser un robot que pretengui estar a totes les llars.

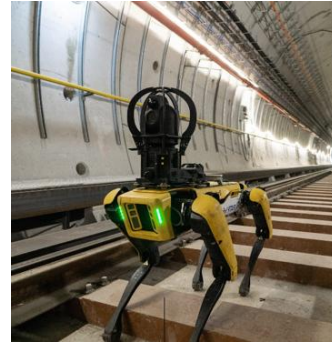


Fig. 1. Spot robot de Boston Dynamics amb un lidar.

3.2 Robots socials i de companyia

Els robots socials i de companyia busquen generar una interacció més propera amb l'usuari mitjançant veu, moviment, expressivitat i formes físiques agradables. Robots com Aibo [3], LOVOT [4] o Miro-E [5] mostren que l'aparença i el comportament tenen un paper important en l'acceptació del robot dins de l'entorn domèstic. No obstant això, molts d'aquests sistemes tenen capacitats de mobilitat limitades, un cost elevat o depenen de serveis externs per oferir part de les seves funcionalitats.



Fig. 2. LOVOT robot de Leobotics.

3.3 Detecció de paraula d'activació

Els sistemes comercials com Amazon Alexa o Google Assistant reenvien àudio al núvol. Alternatives com Porcupine [7] permeten l'execució local però amb llicències restrictives. openWakeWord [6] és una eina de codi obert que permet entrenar models personalitzats i exportar-los en format ONNX per a inferència lleugera amb onnxruntime en arquitectures ARM, fet que la converteix en una alternativa adequada per a sistemes robòtics que busquen reduir la dependència del núvol.

3.4 Locomoció quadrúpeda: disseny de potes

El disseny de les potes d'un robot quadrúpede determina directament l'agilitat, l'estabilitat i el consum energètic. S'han analitzat tres enfocaments principals:

1. Motors brushless amb corretges dentades, el back-drivability excel·lent però inèrcia elevada i cost prohibitiu.
2. Genoll amb transmissió per cargol de boles, alta precisió i geometria backward-bend, però complexitat mecànica inviable per al pressupost i temps del TFG.
3. Mecanisme de paral·lelogram, els motors se centralitzen a un hub estructural, eliminant la inèrcia distal i maximitzant la velocitat de les potes amb servomotors assequibles.

S'ha optat pel paral·lelogram per la seva simplicitat mecànica, compatibilitat amb impressió 3D en PLA i per l'adequació als servomotors Dynamixel [15] XC430. L'angle del genoll es transmet a l'articulació inferior per una barra paral·lela, i els peus incorporen una sola de TPU per a l'absorció d'impactes. Com a referència de partida s'ha pres el projecte 3D Printed Robot Dog [8] d'Instructables, adaptat en dimensions, punts d'unió i distribució per integrar els servomotors de NOVA, respecte al 3D Printed Robot Dog [8] també s'ha redissenyat per reduir el seu pes total.



Fig. 3. Disseny de les potes de NOVA amb mecanisme de paral·lelogram imprès en 3D.

3.5 Embedded Computing en robòtica mòbil

La Embedded Computing és essencial en robòtica, ja que permet controlar sensors, actuadors i processors interns directament des del robot. Segons la complexitat del sistema, es poden utilitzar microcontroladors o ordinadors de placa única.

Plaques com Arduino, ESP32 o Raspberry Pi Pico són habituals per tasques simples de control, lectura de sensors, comunicació I2C o generació de senyals PWM. Destaquen pel baix cost i consum reduït, però tenen poca capacitat per executar processos complexos.

Per aplicacions més avançades s'utilitzen plaques com Raspberry Pi [14], que permeten executar Linux, gestionar càmeres, àudio, serveis web i comunicacions de xarxa. Quan es requereix visió artificial, intel·ligència artificial o navegació autònoma, són habituals plataformes com NVIDIA Jetson [13], ja que incorporen GPU i més capacitat de càlcul.

Així, l'elecció de la plataforma depèn del nivell de processament necessari, el consum energètic, el cost i les funcionalitats que es volen integrar al robot.

4 METODOLOGIA

4.1 Disseny 3D

El disseny 3D de NOVA s'ha desenvolupat tenint en compte tres objectius principals, obtenir una estructura funcional i prou forta, facilitar la integració dels components electrònics i mantenir una aparença amigable inspirada en una guineu.

El cos s'ha dissenyat com una estructura compacta i modular, amb espai interior suficient per integrar la NVIDIA Jetson [13], la bateria, els convertidors de tensió, el cablejat i els diferents mòduls electrònics. També s'han previst punts de fixació per als sensors externs, com el LiDAR, els sensors ToF i la càmera, intentant mantenir una distribució equilibrada del pes per millorar l'estabilitat del robot.

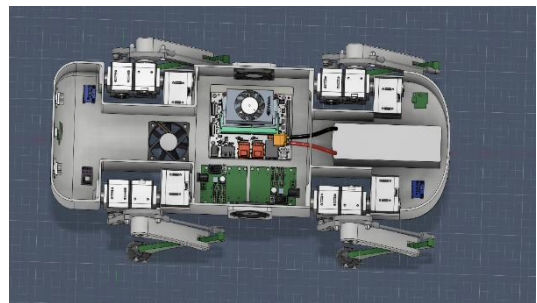


Fig. 4. Model 3D de NOVA amb distribució de components i disseny estructural.

Les potes s'han dissenyat a partir d'un mecanisme de paral·lelogram, que permet transmetre el moviment de manera senzilla i reduir la massa situada a l'extrem de cada extremitat. Aquest disseny facilita la impressió 3D de les peces i permet integrar els servomotors de manera més compacta. A més, s'han incorporat zones de contacte amb el terra pensades per millorar l'adherència i absorbir part dels impactes durant el moviment.

El cap del robot s'ha dissenyat buscant una aparença més

expressiva i menys industrial. S'hi han integrat les pantalles dels ulls, la matriu de LEDs, el sistema de moviment del coll i els elements necessaris per a la interacció amb l'usuari. Aquesta part del disseny és especialment important, ja que contribueix a donar al robot una sensació de presència i personalitat.

Durant el procés de desenvolupament s'han fet diverses modificacions del model 3D per corregir problemes de dimensions, encaixos, resistència mecànica i distribució interna dels components. Les peces s'han preparat per a impressió 3D, prioritzant una estructura lleugera però suficientment resistent per suportar el pes del robot i les forces generades durant el moviment.

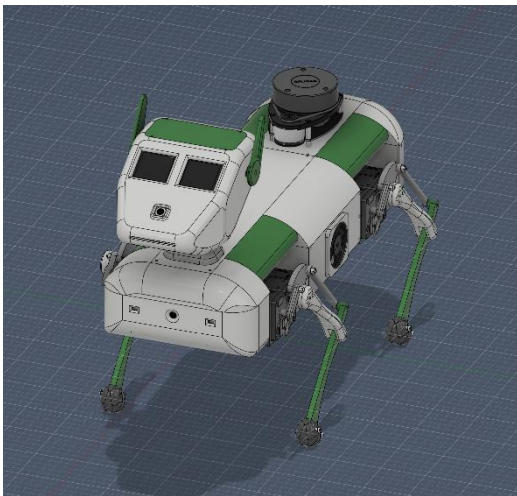


Fig. 5. Arquitectura del sistema NOVA.

4.2 Arquitectura dual

L'arquitectura de NOVA es divideix en dos subsistemes amb responsabilitats diferenciades entre el cap i el cos del robot. Aquesta divisió permet separar les tasques d'interacció directa amb l'usuari de les tasques més pesades de percepció, navegació i processament.

El primer subsistema correspon al cap del robot i es va basar en una Raspberry Pi 4. Aquest mòdul s'encarrega de les operacions d'entrada i sortida relacionades amb la interacció amb l'usuari. Entre les seves funcions principals hi ha la captura d'àudio mitjançant un micròfon USB, la detecció de la paraula d'activació, la transcripció de veu, el control de les pantalles LCD dels ulls de 1,8 polsades, la matriu de LEDs Neopixel, els servomotors del coll i la càmera principal destinada al seguiment facial. A més, aquest subsistema exposa un servidor HTTP local al port 8080, que permet publicar els esdeveniments que ha percebut i rebre ordres que executar.

El segon subsistema correspon al cos del robot i està basat en una NVIDIA Jetson [13], que actua com a cervell del robot sota el framework ROS 2 [9]. Aquest mòdul integra els

sensors principals del robot, com el LiDAR per fer els mapes 2D, dos acceleròmetres per poder visualitzar i adaptar el robot a la inclinació del terreny, el sensor de qualitat de l'aire SCD41 [18], dos sensors ToF per fer de radar frontal i veure el que no veu el LiDAR, el mòdul GNSS i 4G, i la càmera NoIR per tenir la capacitat futura de veure en la foscor. També és l'encarregat d'executar les tasques de navegació, SLAM, execució del LLM local i enviament de telemetria cap al backend d'Europorobotics.

Aquesta arquitectura dual permet que el cap mantingui les funcions expressives i d'interacció, com el parpelleig, el seguiment de la mirada o les expressions visuals, de manera independent de les tasques computacionalment més exigents executades al cos. D'aquesta manera, el robot pot conservar una sensació de presència i continuïtat en la interacció amb l'usuari encara que la Jetson estigui processant tasques complexes com el mapatge, la navegació o la inferència del model de llenguatge.

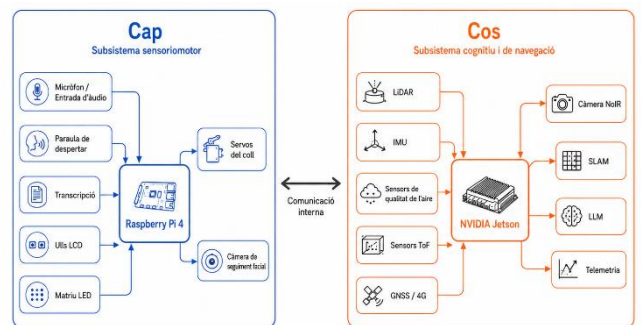


Fig. 6. Imatge Arquitectura dual del sistema NOVA fet amb IA.

4.3 Protocol de comunicació interna

Els dos subsistemes es comuniquen per Ethernet directe, garantint robustesa, ja que l'alternativa de fer-ho per wifi és molt inestable comparat amb el cable. El protocol segueix un paradigma asimètric d'esdeveniments cap amunt i ordres cap avall:

- Flux ascendent (Cap → Cos): el cap publica els estímuls percebuts (paraula d'activació detectada, transcripció de veu, usuari reconegut) en una cua d'esdeveniments que la Jetson [13] consumeix sota demanda. Cada esdeveniment es processa exactament una vegada i no es perd.
- Flux descendent (Cos → Cap): un cop la Jetson [13] ha pres una decisió, envia ordres al cap com per exemple canviar l'expressió, parlar, moure el coll o activar l'escolta.

Aquest desacoblament permet que els dos subsistemes funcionin a ritmes diferents sense bloquejar-se mútuament. A més, la Jetson [13] envia telemetria en temps real al panell web d'Europorobotics per a supervisió i control

remot.

4.4 Interacció per veu

La interacció per veu es va implementar perquè NOVA pogués reaccionar amb l'usuari d'una manera més natural, sense necessitat d'utilitzar una pantalla tàctil ni altres sistemes. Aquesta part vaig pensar que seria més adient fer-la dins del cap per així alliberar de recursos la Jetson [13] per sistemes més importants com la navegació.

Per a poder fer la detecció de la paraula d'activació vaig utilitzar openWakeWord [6], entrenant un model personalitzat per detectar la frase "Hey Nova" i algunes variants fonètiques, ja que al final ha de ser capaç de detectar-ho en català, castellà i anglès seguint els dos primers els més complicats de detectar. Aquest model s'executa localment a la Raspberry Pi [14], de manera que l'àudio ambient no s'envia a servidors externs. Quan el sistema detecta la paraula d'activació amb prou confiança, el robot passa al mode d'escolta i activa els leds de la boca i les pantalles fica una icona d'un micròfon per indicar que està atenent l'usuari.

Un cop activat el mode d'escolta, el sistema grava la comanda de veu de l'usuari i la transcriu mitjançant Vosk [11], un motor de reconeixement de veu offline. Aquesta decisió permet mantenir la transcripció dins del propi robot i reduir la dependència d'Internet. A més, es va plantejar el suport per a diferents idiomes, com català, castellà i anglès, per adaptar millor la interacció segons l'usuari. En l'última modificació del sistema vaig implementar una opció per que també es pugui fer la transcripció de la ordre online via Google Gemini per si es vol un model més precís sobretot quant es tracta de mantenir una conversa en directe.

Finalment, per donar resposta en veu, es va utilitzar espeak-ng [12] com a sistema de síntesi de veu. Aquest motor genera l'àudio localment i el reproduïx per l'altaveu que està dins del cos i connectat al cap via Bluetooth. Tot i que la qualitat de veu no era tan natural com la d'altres sistemes al núvol, permetia mantenir una arquitectura més privada i funcional sense connexió externa. I en cas que es vulgui un àudio de millor qualitat sempre es pot connectar amb serveis al núvol però mai per defecte ja que així manteniment la privacitat de les dades personals dels usuaris.

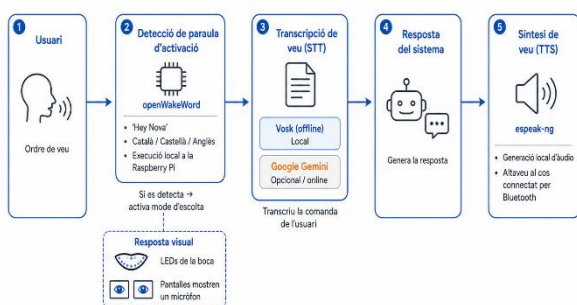


Fig. 7. Esquema visual del camí que fa la interacció de veu fet amb IA.

4.5 Percepció visual

La percepció visual es va implementar amb l'objectiu que NOVA pogués detectar l'usuari i reaccionar a la seva presència. Aquesta funcionalitat es va centrar sobretot en el cap del robot, ja que la càmera principal està relacionada amb la detecció i reconeixement facial i el seguiment de la mirada.

El sistema processa les imatges de la càmera per detectar cares mitjançant OpenCV. A partir de la posició de la cara dins de la imatge, calcula la desviació respecte al centre del frame i genera ordres per moure els servomotors del coll. D'aquesta manera, el robot pot orientar el cap cap a l'usuari i donar una sensació més natural d'atenció.

També es va plantejar el reconeixement d'usuaris a partir de mostres facials registrades prèviament. Aquesta funcionalitat permet que el sistema pugui identificar persones conegudes i adaptar la interacció segons l'usuari detectat, per exemple canviant la salutació, l'idioma o el nivell de familiaritat.

A més, es va estudiar la incorporació d'un sistema lleuger de detecció d'emocions. Aquesta informació no determina directament el comportament del robot, sinó que funciona com un context addicional que pot ajudar el sistema principal a generar una resposta més adequada segons la situació.

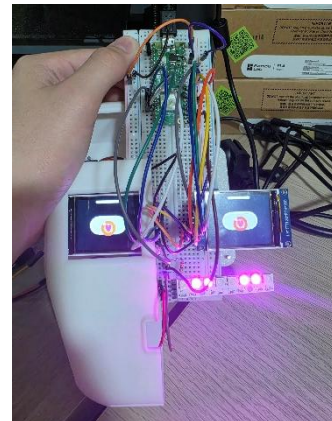


Fig. 8. Robot Nova simulant emoció de enamorat.

4.6 Navegació per LiDAR i SLAM

Per a la percepció de l'entorn i la navegació es va integrar un LiDAR de 360° 2D, concretament el RPLIDAR [16] A1M8. Aquest sensor permet escanejar l'espai al voltant del robot i obtenir informació sobre obstacles, parets i zones lliures dins de l'entorn.

La informació del LiDAR es processa des de la Jetson [13] utilitzant ROS 2 [9] i eines de SLAM, com slam_toolbox [10]. Amb aquest sistema es generant mapes 2D de l'en-

torn, que serveixen com a base per a la navegació i per entendre millor l’espai on es troba el robot. Aquests mapes també es mostren al panell web, facilitant la visualització de l’estat del sistema i de l’entorn detectat.

4.7 Sistema de LLM híbrid

El sistema de LLM es va plantejar com una arquitectura híbrida, combinant un mode local i un possible mode al núvol. L’objectiu era permetre que NOVA pogués mantenir converses i respondre preguntes de l’usuari, però sense perdre de vista la privacitat ni les limitacions de hardware del robot.

En el mode local, el model de llenguatge s’executa directament a la Jetson [13] . Aquesta opció permet mantenir la conversa dins del propi robot i reduir la dependència d’Internet. Tot i això, com que la Jetson [13] també executa altres processos com sensors, navegació i visió, el model s’ha de gestionar amb molt de compte per no saturar els recursos del sistema. Per aquest motiu, es va plantejar que el LLM s’activés sota demanda i no estigués sempre carregat.

En el mode núvol, el sistema pot enviar la petició a un servei extern d’intel·ligència artificial, sempre que l’usuari ho autoritzi. Aquesta opció permet obtenir respostes de més qualitat o més ràpides en alguns casos, però implica una menor privacitat. Per això, el mode local es va considerar l’opció principal per defecte.

El LLM no rep només la frase de l’usuari, sinó també un context del robot, com l’estat dels sensors, l’usuari detectat o els esdeveniments recents. A partir d’aquesta informació, el sistema pot generar una resposta més coherent amb la situació. Tot i així, per seguretat, les accions del LLM es van limitar perquè no pogués controlar directament motors o elements crítics del robot sense passar per cap validació.

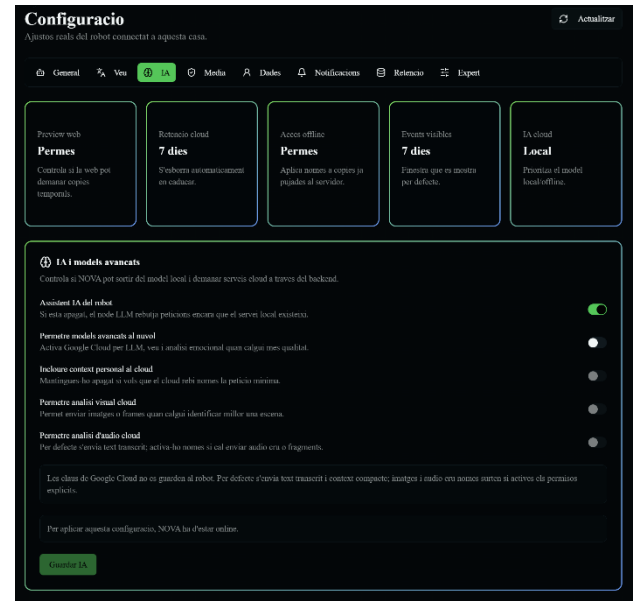


Fig. 8. Robot Nova simulant emoció de enamorat.

4.8 Privacitat i emmagatzemament

La privacitat va ser un punt important en el disseny del sistema, ja que NOVA estava pensat per funcionar dins d’un entorn domèstic, on podia tractar informació sensible com àudio, imatges, perfils d’usuari o dades dels sensors. Per aquest motiu, es va prioritzar que la major part del processament es fes de manera local.

Les dades sensibles, com els perfils d’usuari, mostres facials o fitxers multimèdia capturats, s’emmagatzemen a la Jetson [13] en una base de dades local. D’aquesta manera, el robot pot funcionar sense enviar informació personal al núvol de manera constant. Només en els casos en què l’usuari ho autoritza explícitament, algunes dades o peticions poden sortir cap a serveis externs.

A més, la Jetson també envia informació de supervisió cap al panell web, com l’estat del hardware, els recursos consumits, els sensors actius i el mode de funcionament del robot. Aquesta telemetria està pensada per ajudar a controlar i depurar el sistema, però evitant exposar informació sensible innecessària. Així, el sistema manté un equilibri entre funcionalitat, control remot i protecció de la privacitat de l’usuari.

5 PLANIFICACIÓ I PRESSUPOST

5.1 Planificació General

En aquesta secció s'exposa el calendari de les tasques agrupades per fases.

Taula 1. Planificació per fases

Fase	Data Inici	Data Finalització
Fase 1. Anàlisi i diagnosi	02/02/2026	16/03/2026
Fase 2. Disseny 3D	16/03/2026	19/04/2026
Fase 3. Simulacions a Isaac Lab i connectar sensors	19/04/2026	22/05/2026
Fase 4. Impressió i construcció del robot	19/04/2026	18/05/2026
Fase 5. Afegir funcions a la pagina web i revisar errors disseny	11/05/2026	08/06/2026
Fase 6. Validar i documentar el robot	08/06/2026	28/06/2026

5.2 Avaluació de riscos

Durant el desenvolupament del projecte s’han identificat diversos riscos que poden afectar tant la planificació

com el resultat final del robot. Un dels principals riscos és el retard en l'arribada dels components, ja que podria afectar directament l'assemblatge i les proves del sistema. També cal tenir en compte la falta d'energia o autonomia insuficient, especialment pel consum dels motors, la Jetson [13], la Raspberry Pi [14] i els diferents sensors integrats. A nivell de disseny, poden aparèixer errors en les peces 3D, excés de pes en l'estructura o problemes d'estabilitat, fet que obligaria a redissenyar, reimprimir o ajustar parts del robot. També existeixen riscos relacionats amb el cablejat, la PCB, la compatibilitat entre mòduls i el sobreescalfament del sistema, que podrien provocar errors de funcionament o d'integració.

Pel que fa a la part de simulació i entrenament, s'ha considerat el risc de tenir dificultats amb eines com Isaac Lab de NVIDIA o de no disposar de prou capacitat de GPU per entrenar models complexos. Finalment, també s'han contemplat possibles problemes de connexió amb el mòdul 4G o Wi-Fi, així com el trencament d'algun motor durant les proves. Per reduir aquests riscos, s'han plantejat i aplicat accions com disposar de proveïdors alternatius, tenir components de recanvi, revisar la documentació tècnica dels sensors, validar el cablejat abans de l'encesa, optimitzar el pes de l'estructura, millorar la ventilació interna i ajustar el software de control per corregir problemes d'estabilitat.

5.1 Pressupost

Taula 2. Resum dels pressupostos fet per distribuïdors.

Distribuïdor	Unitats	Total
Bricogeeek	5	154,59 €
Mouser	13	218,11 €
Generation robots	14	1.778,64 €
Reichelt	1	56,89 €
Seed Studio	2	301,98 €
Amazon	8	127,41 €
Aliexpress	10	55,22 €
BambuLab	2,8	34,35 €
JLCPCB	4	56,20 €
Hobbyplay	1	69,90 €
Total	60,8	2.853,29 €

6 ÚS DE LA IA GENERATIVA

Durant el desenvolupament del projecte es va utilitzar IA generativa com a eina de suport, però en cap cas com a substitut del treball propi. El seu ús es va centrar principalment en la revisió i millora de fragments de text, millora d'idees i de suport tècnic per entendre millor alguns problemes.

En el cas de la memòria, es van introduir textos escrits prèviament per mi i es va demanar ajuda per corregir faltes, millorar la claredat de les frases i adaptar alguns apartats a un estil més adequat per a un document acadèmic.

Tot i això, el contingut tècnic, les decisions de disseny, les proves realitzades i les conclusions van ser definides i revisades manualment.

Pel que fa a la part tècnica, la IA es va utilitzar com a suport per resoldre dubtes, comparar alternatives i detectar possibles errors en fragments concrets. No es va utilitzar per programar directament el projecte complet, sinó com una eina d'acompanyament per revisar, entendre i millorar parts puntuals del desenvolupament.

7 RESULTATS

7.1 Visió general dels resultats obtinguts

Durant el desenvolupament del projecte s'ha aconseguit construir una primera versió funcional de NOVA, integrant el cap basat en Raspberry Pi [14], el cos basat en NVIDIA Jetson [13], la comunicació amb ROS 2 i la plataforma web de supervisió. El sistema permet monitoritzar l'estat del robot, rebre telemetria, consultar sensors, visualitzar dades del LiDAR, obtenir informació GNSS, provar càmeres i gestionar esdeveniments.

Taula 3. Resum dels resultats obtinguts

Àmbit	Resultat obtingut	Estat
Arquitectura dual	Comunicació entre Raspberry Pi [14] i Jetson [13]	Complet
Telemetria web	Enviament d'estat, sensors i diagnòstic	Complet
Sensors ambientals	Lectura de CO ₂ , temperatura i humitat amb SCD41 [18]	Complet
LiDAR	Lectura de l'entorn i visualització inicial del mapa	Parcial
GNSS/4G	Lectura de GPS i connexió 4G	Complet
Càmeres	Captura i transmissió cap al panell web	Complet
Àudio	Sortida de veu amb espeak-ng [12] i alta-veu Bluetooth	Complet
Motors	Caminar basic	Parcial
SLAM	Preparació amb ROS 2 [9] i slam_toolbox [10]	Parcial
LLM local/núvol	Arquitectura preparada per mode híbrid	Complet

Un dels resultats més importants ha estat la integració de la plataforma web, ja que permet centralitzar la supervisió del robot i separar la informació en un mode estàndard i un mode expert. També s'ha validat la comunicació entre els diferents mòduls i la capacitat del robot per enviar dades de diagnòstic gairebé en temps real.

En la part de percepció, el LiDAR ha permès obtenir una primera representació de l'entorn. Els sensors ambientals i les IMU han quedat integrats i serveixen com a base per funcions de monitoratge i estabilitat.

Pel que fa als resultats negatius o limitacions, la locomoció quadrúpede no ha quedat completament finalitzada. Tot i que s'han començat les proves amb motors DYNAMIXEL [15] tocarà en els següents mesos anar implementant millores en el caminar. També s'ha observat que el consum de recursos és un punt crític, especialment quan funcionen alhora càmeres, LiDAR, processos de visió i models locals d'intel·ligència artificial, però s'ha aconseguit gestionar força be mantenint una temperatura de 60 graus en cada subsistema com a màxim, l'únic punt crític contenia següent el LLM que quant s'encén hem de parar altres sensors o satura la memòria.

En conjunt, els resultats mostren que l'arquitectura proposada és viable i que el sistema ja disposa d'una base funcional per continuar desenvolupant la navegació, la locomoció i la interacció amb l'usuari.



Fig. 8. Robot Nova simulant emoció de enamorat.

8 CONCLUSIONS

Aquest treball m'ha permès desenvolupar una primera versió funcional de NOVA, un robot domèstic amb forma de guineu orientat a la interacció, la privacitat i la percepció de l'entorn. Els objectius relacionats amb el disseny de l'arquitectura, la integració de sensors, la comunicació amb ROS 2 [9] i la supervisió mitjançant una plataforma web s'han assolit en gran part.

La principal aportació del projecte ha estat la creació d'una arquitectura modular formada per dos subsistemes: el cap, centrat en la interacció amb l'usuari, i el cos, encarregat de la percepció, la navegació i el processament principal. Aquesta separació ha permès distribuir millor les tasques i preparar el robot per futures ampliacions.

No va ser fàcil arribar a aquesta solució dels dos sistemes amb Raspberry Pi [14] i Jetson [13], al principi vam provar 3 sistemes per fer de node del cap, que van ser el Arduino UNO Q, la Raspberry Pi Pico i la Nano però o no tenen prou maduresa en el mercat com el nou Arduino i donen molts problemes o no són capaços de moure dues pantalles oled per el microcontrolador a l'hora, també ens em trobat en el cas de la Nano el principal problema era que tenia molt poca capacitat de RAM. Una vegada decidit que la Raspberry PI 4B era la escollida llavors va començar el problema del espai o de la refrigeració tal i com tenia amb el projecte del Robocat però al final s'han resolt tots els problemes principals i només queden errors petits que es van resolent dia a dia.

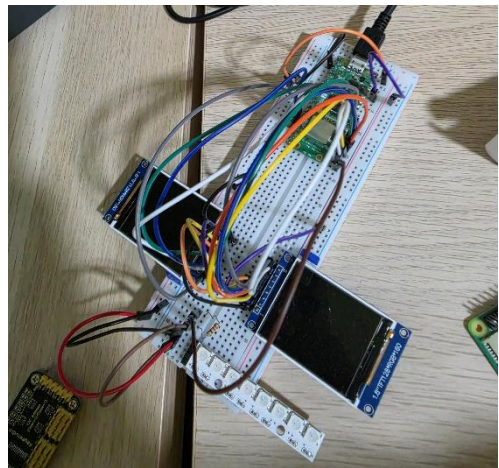


Fig. 9. Prova dels components del cap amb Raspberry PI PICO

Després també s'ha demostrat la viabilitat d'un enfocament orientat a la privacitat, prioritzant el processament local de veu, sensors i dades personals. Tot i això, el projecte encara presenta limitacions importants, especialment en la locomoció i en la navegació autònoma completa, que depenen de la integració final dels motors, l'edometria i el SLAM.

Com a treball futur, caldrà completar el sistema de moviment, millorar el sistema de navegació i desenvolupar un gestor de modes que activi només els mòduls necessaris segons l'estat del robot. També es podrien millorar la veu, la percepció visual i els comportaments socials per aconseguir una interacció més natural.

En conclusió, NOVA encara no és un robot domèstic completament autònom, però el projecte ha establert una base funcional, modular i ampliable sobre la qual es pot continuar desenvolupant un sistema més interactiu i privat.

AGRAÏMENTS

Vull agrair el suport i l'orientació del meu tutor durant el desenvolupament d'aquest treball, ja que se que no ha sigut gens fàcil poder aconseguir tot el material en el temps necessari per a poder-ho muntar tot. També agraeixo a tot-hom que m'ha anat donant opinions sobre l'aspecte del treball i a me germana Mariona per desenvolupar el pelatge en forma de guineu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Unitree Robotics, "Unitree Go2". Disponible en línia.
- [2] Boston Dynamics, "Spot: The Agile Mobile Robot". Disponible en línia.
- [3] Sony, "aibo: Autonomous Entertainment Robot". Disponible en línia.
- [4] GROOVE X, "LOVOT". Disponible en línia.
- [5] Consequential Robotics, "MiRo-E: Robot companion for research and education". Disponible en línia
- [6] D. Scripka, "openWakeWord: An open-source wake word detection framework". GitHub.
- [7] Picovoice, "Porcupine Wake Word Engine". Disponible en línia.
- [8] Instructables, "3D Printed Robot Dog". Disponible en línia.
- [9] Open Robotics, "ROS 2 Humble Documentation". Disponible en línia.
- [10] S. Macenski, "slam_toolbox: 2D SLAM for ROS 2". GitHub.
- [11] Alpha Cephei, "Vosk Offline Speech Recognition Toolkit". Disponible en línia.
- [12] eSpeak NG, "eSpeak NG Text-to-Speech". GitHub.
- [13] NVIDIA, "Jetson Orin Nano Developer Kit". Disponible en línia.
- [14] Raspberry Pi Foundation, "Raspberry Pi 4 Model B". Disponible en línia. Consultat: juny de 2026.
- [15] ROBOTIS, "DYNAMIXEL XC430-T240BB". e-Manual.
- [16] SLAMTEC, "RPLIDAR A1M8 Datasheet".
- [17] STMicroelectronics, "VL53L5CX Time-of-Flight 8x8 multizone ranging sensor datasheet".
- [18] Sensirion, "SCD41 CO₂, temperature and humidity sensor".

APÈNDIX A Disseny del Pelatge de NOVA

A1. CONCEPTE I DISSENY

Al tractar-se d'un robot quadrúpede jo i me germana Mariona Samó vam estar pensant en múltiples animals que poguessin encaixar en les dimensions del robot, ho mes típic hauria sigut representar un gos ja que per mides es perfecte, però volíem que fos un robot únic, que el recordessis i tinguessis ganes de parlar sobre ell a altres persones, però sobretot que continués següent amigable i reconfortant.

Dels múltiples animals que vam pensar com llops, tigres i altres el problema principal es que eren molt agressius per això vam acabar triant l'opció d'una guineu ja que transmet calidesa i a sobre son animals que son recordats per ser molt curiosos i juganers.



Fig. 1. Concepte visual d'una guineu robòtica fet amb IA

A2. PATRONATGE

Per elaborar els patrons, me germana va cobrir el cap i el cos del robot amb cinta de paper, la típica que s'utilitza quant pintes, sobre la qual es van dibuixar les línies de les peces, els piquets de referència i els forats necessaris.

Després, es van retallar totes les peces que formaven el patró complet, es van numerar i es van tornar a comprovar sobre el robot per assegurar que encaixaven correctament amb la seva forma. D'aquesta manera es van poder evitar possibles errors en la següent fase, que consistia a transferir aquests patrons al teixit afegint el marge de costura corresponent.



Fig. 1. Patrons del cap després de ser traspassats del model 3D a la cinta de paper.

A3. CONFECCIÓ A MAQUINA

Per a poder cosir a màquina els patrons prèviament calcats i tallats en la tela corresponent primer va ser necessari col·locar pinces entre les diferents peces. Un cop totes les peces estaven preparades i subjectades en la seva posició, es van cosir a màquina les parts principals del recobriment: el cap, el cos i la cua.



Fig. 3. Preparació de teixit per cosir amb màquina

A4. CONFECCIÓ A MA

Un cop tot va ser cosit a màquina, quedaven petits detalls com les vores dels ulls, o els voltants de les potes i els velcros que servien per ajustar el pelatge al cos i que no es mogui del seu lloc. Aquesta costures es van fer a mà ja que ha de ser completament invisibles i per no agafar els pèls

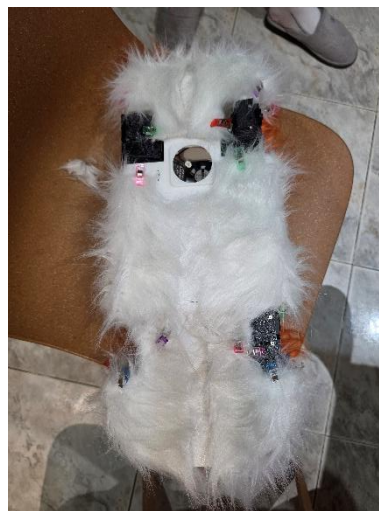


Fig. 4. Col·locació del teixit en la zona pertinent del robot per saber on cosir els velcros.

A5. PROBLEMES TROBATS

Els principals problemes que va trobar, son en part culpa meua ja que són derivats de canvis de posicionament de cables o sensors amb la corresponent modificació en la tela per fer un nou forat o refer una part.



Fig. 5. Antic pelatge del cap modificat mes endavant per que es va tallar massa i no es va poder solucionar.

A6. RESULTAT FINAL

Després de molta feina, es va poder acabar tenint un model de pelatge molt consistent que s'adapta a les mesures del robot i dona la sensació que estigui viu, s'ha pogut veure en alguna demostració familiar que crida molt l'atenció i les mirades i això es gracies a la increïble feina realitzada per la meva germana Mariona Samó dissenyadora de roba.



Fig. 6. Taller de costura de la Mariona

APÈNDIX B EINA DE SIMULACIÓ ELÈCTRICA PowerLab

B1. MOTIVACIÓ I OBJECTIU

Durant el disseny de NOVA va ser necessari validar la distribució elèctrica abans de construir físicament el robot. El sistema inclou bateries, conversos DC-DC, plaques de control, motors, sensors, càmeres i il·luminació, tots amb tensions i consums diferents.

Les eines habituals no s'adaptaven del tot a aquesta necessitat, ja que els programes d'esquemes permeten documentar connexions, però no calculen consums, i els simuladors electrònics detallats són massa complexos per validar una arquitectura de potència per blocs. Per aquest motiu es va

crear PowerLab, una eina pròpia per representar visualment el sistema elèctric i simular-ne el comportament DC de manera simplificada.

L'objectiu de PowerLab no era substituir un simulador de precisió, sinó detectar ràpidament possibles errors de disseny, sobrecàrregues, manca de marge, caigudes de tensió i components mal alimentats.

B2. FUNCIONALITATS PRINCIPALS

PowerLab utilitza un model DC simplificat basat en lleis bàsiques d'electricitat. Per a cada component calcula el consum, la potència, el percentatge de càrrega respecte al límit, les pèrdues en cables, la caiguda de tensió i l'eficiència dels conversos.

Una de les parts més útils és la detecció visual de problemes. Els components i cables canvien de color segons el seu estat que són correcte, proper al límit, sobrecarregat, sense alimentació o crític. A més, el panell d'avísos permet seleccionar un problema i ressaltar directament el component afectat.

L'eina també permet detectar conversos sobrecarregats, cables amb massa corrent, caigudes de tensió elevades, fusibles saltats i components sense alimentació. Finalment, l'esquema es pot exportar com a imatge PNG per incloure'l a la documentació, i el projecte complet es pot guardar en JSON per reproduir o compartir la simulació.

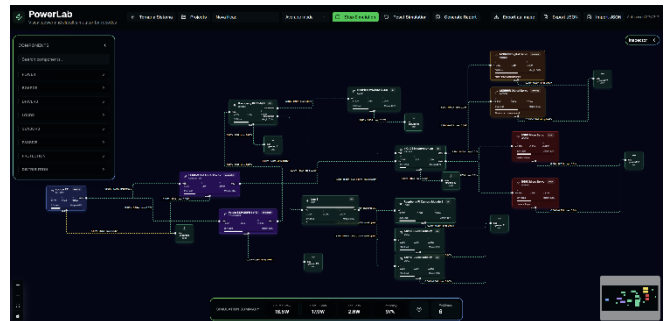


Fig. 7. Captura dins PowerLab corresponent al esquema elèctric de NOVA amb la seva simulació.

B3. LIMITACIONS

PowerLab és una eina d'estimació i validació inicial, no un simulador electrònic de precisió. No modela soroll elèctric, impedàncies dinàmiques ni estabilitat dels reguladors. Tot i això, és suficient per validar l'arquitectura de potència del robot a nivell de sistema i detectar problemes abans del muntatge físic.

Com a millores futures es podrien afegir una base de dades de components, informes automàtics i emmagatzematge centralitzat dels projectes.