

Implementació d'un prototip de robot orientat a la conducció autònoma per a entorns educatius

Sergio Villar Mesurado

Resum– Aquest projecte s'inicia des de la Universitat Autònoma de Barcelona amb la voluntat de construir una plataforma acadèmica que permeti explorar solucions de visió per computador basades en deep learning. Aquest article exposa el model iniciat per el Centre de Visió per Computador, el qual presentava un mal-funcionament, mostra el desenvolupament realitzat per corregir aquest mal-funcionament i la metodologia seguida durant el procés. Finalment, en base a la experiència i coneixements adquirits al llarg del grau, es realitza una proposta de millora per a crear nous prototipus de robots a efectes de millorar la seva flexibilitat, cost, robustesa i modularitat. Com a resultat del projecte s'ha obtingut un prototip funcional amb una capacitat de control limitada. Actualment es continua el projecte amb l'objectiu de millorar les prestacions del control.

Paraules clau– Visió per computador, prototipatge de sistemes encastats, deep learning, nVidia Jetson TX2 module, controlador de motor, raspberry, arduino.

Abstract– This project starts in the Universitat Autònoma de Barcelona with the intention of building an academic platform that allows you to explore computer vision solutions based on deep learning. This article sets out the model started by the Computer Vision Center, which showed a bad behavior, it shows the development carried out to correct this unwanted behavior and the methodology followed during the process. Finally, based on the experience and knowledge acquired throughout the degree, an improvement proposal is made to create new prototypes of robots in order to improve their flexibility, cost, robustness and modularity. As a result of the project, a functional prototype with a limited control capability has been obtained. The project is currently underway to improve control performance.

Keywords– Computer vision, Prototyping embedded systems, deep learning, nVidia Jetson TX2 module, motor controller, raspberry, arduino.



1 INTRODUCCIÓ

EN el sector de la visió per computador s'està produint una carrera tecnològica per arribar a produir sistemes útils i segurs per a la societat. Un dels grans reptes es el de la conducció autònoma, en la qual els elements de seguretat en son una destacada prioritat. Aquest treball presenta una valoració de diferents opcions per dur a terme un prototip de robot que es pugui fer servir com a plataforma d'ensenyament en centres universitaris. Per tant es

- E-mail de contacte: Sergio.Villar@e-campus.uab.cat
- Menció realitzada: Enginyeria de Computadors
- Treball tutoritzat per: Juan Carlos Moure (Computer Architecture and Operative Systems)
- Curs 2017/18

valoraran criteris de robustesa, fiabilitat, modularitat, cost i flexibilitat.

A continuació s'exposa el model inicial sobre el que treballava el Centre de Visió per Computador i el desenvolupament realitzat fins a obtenir un prototip funcional.

Finalment es fa una proposta de disseny general argumentant les decisions en base a la experiència obtinguda a partir de la creació del prototip inicial.

2 OBJECTIUS

Per a la realització del treball s'ha seguit una planificació de sub-objectius, la finalitat dels quals es la creació d'un sistema encastat capaç de generar respostes físiques a les solucions d'algorismes de visió per computador. Les respostes físiques dins del marc del projecte son la mobilitat

del robot cap endavant i cap endarrere i un control de direcció que permeti girar el cotxe cap a la esquerra i la dreta.

Els sub-objectius de manera ordenada han estat els següents:

- Identificar els requisits necessaris atenent el context educatiu pel qual es vol desenvolupar el prototip.
- Valorar diferents opcions d'implementació atenent als requisits.
- Desenvolupar el model triat per a obtenir un prototip.

3 ESTAT DE L'ART

Els algorismes tradicionals de *computer vision* tenen com a objecte extreure característiques definides d'una imatge, és a dir, detectar patrons. Si es vol reconèixer una cara, es comença per cercar ulls, nassos, boques, etc. Aquestes serien les característiques o *features* que una vegada extretes s'apliquen sobre algorismes de machine learning per generar un output en funció de si aquestes característiques hi son o no presents.

Els algorismes que han portat el terme *computer vision* a renéixer son els basats en *deep learning*. Ara no és necessari definir característiques, seguint l'exemple, ara es processen milers d'imatges amb cares i eventualment, el programa aprendrà que es una cara.

La qüestió es evident: perquè no s'ha fet servir abans?. La resposta la trobem en dos blocs de requisits diferents: Capacitat de còmput i quantitat de dades.

Un dels grans impediments era la elevada computació requerida per realitzar *deep learning*: no era suficient. L'aparició de targetes acceleradores (GPU's) amb milers de nuclis de còmput, ha permès la computació necessària per entrenar xarxes neuronals en temps raonables, base del *deep learning*.

En paral·lel, l'accés a conjunts d'imatges ordenats a internet i la pròpia generació d'aquestes ha augmentat de forma exponencial. Aquest fenomen es coneix com a *big data*. Per tant, s'arriba a un context necessari i favorable per a la explotació del *deep learning*.

Un dels problemes de treballar amb xarxes neuronals és que quan modifiquem els inputs d'entrenament de la xarxa, aquesta s'ha d'entrenar de nou. Un altre problema és la precisió de les xarxes, és a dir, els pesos i les neurones inherents a la xarxa es poden optimitzar a efectes de reduir posteriorment les necessitats de processament.

En aquest escenari, sorgeixen diferents plataformes per implementar *deep learning* que pretenen millorar la eficiència dels algorismes (Matlab, Caffè, Theano, Torch, TensorFlow, TensorRT...)

Les optimitzacions no només van lligades a la creació del model, sinó a l'impacte energètic que aquest genera. Un dels grans reptes actualment és la necessitat de crear productes sostenibles i amb una etapa de vida útil que pot

arribar a ser superior a una dècada.

Per acabar aquesta exploració i lligant els conceptes esmentats, necessitem tractar el tema de quins tipus de xarxes es fan servir per donar solució al repte de la conducció autònoma.

La intel·ligència artificial emulant a la humana, necessita percebre uns inputs que li permetin percebre una situació i actuar en conseqüència. Es pot interpretar que donada una imatge (input), es genera un output basat en el que s'ha obtingut en processar la imatge... però si rebem 30 imatges per segon, podríem estar generant 30 outputs de forma dispersa en el mateix segon, per exemple, modificar la velocitat actual de 40Km/h a 54Km/h per reduir-la a 12Km/h en centèsimes de segon, aquestes ordres no es podrien dur a terme físicament, per tant, cal incorporar el concepte de planificació.

Com a conseqüència de la necessitat de planificar les ordres, es requereix un sistema de precisió on els actuadors generin una sortida exacte, però això a la pràctica no és factible donat que hi han diferents variables que alteren la actuació, com per exemple el fregament sobre la superfície d'actuació, el vent, la temperatura, la il·luminació...

Per tant, apareix la necessitat de obtenir un control sobre la planificació per corregir els errors que sorgiran entre l'objectiu que es vol aconseguir i el que realment està succeint.

Es pot intuir doncs, una gran necessitat de desenvolupament en aquests àmbits. És aquí on enfoquem la voluntat del projecte: facilitar la creació, o en el seu defecte, l'ús d'un robot, atenent bones pràctiques metodològiques per tal de facilitar la identificació d'errors, reparació, modificació d'elements i en definitiva, oferir flexibilitat i facilitats per a un robot que s'haurà d'adaptar al llarg del temps per donar resposta a les noves implementacions software i els nous elements hardware que sorgeixen.

En resum, el repte de la conducció autònoma està evolucionant a un ritme elevat, per tant, si es vol tenir un robot que pugui donar resposta als algorismes de visió per computador, s'ha de tenir en compte que les necessitats software poden implicar modificacions hardware.

El cicle software basat en percepció, planificació, actuació i control implica una exigència computacional elevada que connecta aquests blocs per a una única finalitat: generar els comportaments esperats mitjançant actuadors de forma precisa. Aquesta necessitat de còmput requereix un ús important en termes energètics, per tant, l'altre aspecte a tenir en compte serà reduir la energia necessària per fer funcionar el prototip.

4 METODOLOGIA I DESENVOLUPAMENT

Per a la realització del projecte s'ha fet servir una metodologia àgil basada en SCRUM[1]. Aquesta metodologia ha permès modificar la gestió de les tasques adaptant-se als

canvis que s'han produït al llarg del desenvolupament del treball.

Seguint l'ordre dels sub-objectius s'exposa el desenvolupament realitzat:

4.1 Identificar els requisits

Atenent el marc educatiu en el que es vol fer servir el prototip, s'identifiquen els següents requisits:

- 1- Tenir un cost unitari baix en termes econòmics.

Una de les finalitats podria ser realitzar pràctiques universitàries amb el robot, si el cost es baix, es podran tenir més quantitats i això permet una ràtio de treball suficient com per a fer viable aquesta finalitat. El pressupost de la universitat en el moment de la realització del treball es modest i per tant genera aquest requisit.

- 2- Oferir flexibilitat.

El producte es susceptible de ser modificat per diversos factors, per exemple, adaptar-se a uns nous requisits software pot implicar modificacions en el hardware. Aquest fet justifica el següent requisit.

- 3- Oferir modularitat.

Els elements que realitzen una tasca dins del sistema, com poden ser els motors, es consideren un mòdul, independentment dels elements físics que es requereixen per la seva funcionalitat. Si es modifica el hardware, afegint o extraient elements, la funcionalitat ha de continuar sent la mateixa.

- 4- Oferir robustesa.

En aquest context, robustesa fa referència als elements. Aquests han d'oferir una garantia de funcionament i de protecció davant d'imprevistos que en la mesura de les possibilitats impedeixin el trencament de la peça. Donat que el robot el faran servir alumnes, existeix un marge d'error a l'hora de manipular els elements, si els dispositius tenen una protecció davant de situacions anòmales (connectar un cable on no toca) ajudarà a prevenir mal funcionaments, estalviant costos de treball i material.

- 5- Documentar el model.

Documentar el model permet estalviar feina a l'hora de realitzar modificacions: si sabem les característiques de cada mòdul (alimentació, comunicació i funcionalitat), podrem implementar canvis amb més eficàcia donat l'estalvi de temps i la previsió de problemes, com pot ser modificar el tipus de protocol de comunicació entre elements.

- 6- Generar una bateria de tests per element o mòdul.

Quan un sistema presenta un mal funcionament, no sempre es fàcil trobar l'origen del problema. En un context de pràctica universitària fent servir el robot,

l'objectiu probablement no serà reparar el vehicle, sinó fer-lo servir. Per tant, si el sistema no funciona correctament, s'ha de tenir un protocol per a identificar quin element no està funcionant correctament.

4.2 Valorar diferents opcions

Les possibilitats plantejades per a dur a terme el projecte van ser tres: Començar des de zero, adquirir un kit de desenvolupament o bé, adquirir un producte comercial i capturar el control del mateix.

Es va realitzar una valoració per a cada opció segons els requisits.

- Començar de zero.

Aquesta opció comporta un cost hardware baix donat que els elements es poden comprar en grans quantitats i directament de proveïdors. Però el cost augmenta considerablement si afegim les hores de treball necessàries per integrar els elements. El sistema ofereix una gran flexibilitat i modularitat que ve donada en part pel coneixement adquirit al tenir que implementar tot el sistema. Si escollim elements específics (motor mes controlador específic per al mateix) per a les necessitats en comptes d'elements més genèrics (raspberry) el sistema millora en termes de robustesa. Documentar el model es senzill donat que es pot realitzar un esquema segons s'integrin els elements, els quals proveeixen un esquema del seu funcionament així com informació específica del mateix. Per últim generar una bateria de tests, seguint una metodologia modular, no s'intueix una tasca complexa, donada la documentació facilitada pel fabricant.

- Adquirir un kit de desenvolupament.

Aquesta opció sol tenir un cost elevat pel fet de ser un producte comercial que generalment no es ven en grans quantitats. La flexibilitat és reduïda donat que es un producte final amb unes característiques físiques definides. Es un producte normalment realitzat per mòduls ja que està orientat a desenvolupament. La documentació es elevada i s'intueix una comunitat darrera per donar suport. La robustesa es elevada segons la garantia i qualitat del venedor.

- Capturar el control d'un producte comercial.

La tercera opció ofereix un cost baix ja que podem adquirir un producte comercial que es ven en quantitats considerables. El producte en un inici es robust i la dificultat radica en la capacitat d'adquirir un control sobre els actuadors i comunicar-los amb altres mòduls que s'hauran d'afegir. Aquest fet comporta que el cost pot augmentar i perdre part de la robustesa del sistema. El producte ofereix una flexibilitat limitada, es poden fer algunes modificacions físiques, però d'altres poden ser inviàbles. La documentació s'ha de realitzar de forma manual i els components solen ser creats pel fabricant, aquest fet implica que no es té accés a esquemes.

En resum, la millor opció per a dur a terme el projecte es comprar una plataforma orientada a desenvolupament que proporcioni informació de com es relacionen els elements. Aquesta plataforma garanteix robustesa, modularitat i documentació en contra d'una reduïda flexibilitat i elevat cost.

La segona millor opció es construir un prototip per components, aquesta opció requereix molt temps i per tant cost econòmic elevat, però garanteix modularitat, flexibilitat, documentació i la creació bateries de test per mòduls. Per contra la robustesa ve limitada per la elecció de components i serà necessària experiència per acabar triant els elements mes adequats.

Per últim, la opció menys recomanable es adquirir un robot funcional i adaptar-lo a les necessitats del projecte. En aquest cas, els conceptes de robustesa, documentació i tests queden limitats per el fabricant que no proporciona informació dels mateixos per ser un producte comercial. El cost s'intueix el mes baix i la flexibilitat pot ser suficient per els requisits.

La opció triada per a realitzar el treball ha estat aquesta última, tot i no ser la més recomanable s'ha tingut en compte els següents factors:

- El cost de la millor plataforma cercada[2] es molt elevat i el temps d'entrega podia ser de fins a sis setmanes donat que s'ha de demanar a Estats Units.
- Començar de zero requereix més temps del que es demana en aquest treball i encara que es podia implementar una part, es va tenir en compte el següent punt.
- El Centre de Visió per Computador havia iniciat un projecte i s'ha donat la possibilitat de participar al mateix.

Per tant, el prototip que es desenvolupa en aquest projecte parteix d'un ja existent, que ha seguit la opció menys recomanable segons els requisits analitzats.

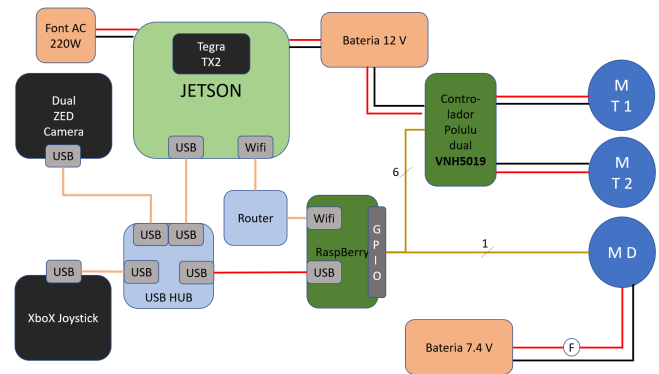
Un factor important que ha ajudat a prendre aquesta decisió ha estat la possibilitat de participar en un grup de treball orientat a la mateixa voluntat que aquest projecte, en el qual hi ha gent amb experiència en diferents àmbits que poden ajudar a la meua pròpia formació.

4.3 Desenvolupar el prototip

En aquesta secció s'exposa l'arquitectura inicial de la que parteix el projecte, les modificacions realitzades i les propostes de millora en un futur.

4.3.1 Arquitectura inicial

A continuació es mostra l'esquema general del sistema en el moment d'iniciar el projecte:



Abans de descriure els elements que integren el sistema, es verifica que el sistema no funciona correctament, en concret el vehicle no respon a les comandes de gir de dreta i esquerra. Anteriorment s'han cremat dos motors de direcció i no es troba la causa de què origina aquest mal funcionament.

A continuació es descriuen els elements que conformen el sistema, la seva funcionalitat, comunicacions i font d'energia.

- Tegra TX2

El controlador Tegra TX2 s'adapta perfectament als requeriments software que generen les xarxes neuronals. Moltes operacions es poden realitzar de forma paral·lela i el fet que tingui 256 cores conjuntament amb un baix consum energètic fa d'aquest controlador la millor opció per a un sistema encastat orientat a realitzar tasques de visió per computador. Per utilitzar de forma senzilla aquest controlador, el fabricant nVidia proveeix un kit de desenvolupant, anomenat nVidia Jetson development kit, que integra el controlador amb diferents perifèrics com s'explica a continuació.

- Jetson development kit

El kit facilita l'ús del microcontrolador Tegra TX2 i incorpora, entre d'altres, un modul de càmera de 5-megapixel i connexions estàndards com USB3, HDMI, RJ45, SD card i un PCIe x4 slot. El kit ve amb documentació i amb un conjunt de programari i drivers orientat a facilitar la implementació de xarxes neuronals al microcontrolador.

La Jetson pot funcionar en 2 modes en funció de la tensió subministrada, 12V i 19V. La diferència entre aquest modes és el consum i rendiment, en 19V ambos aspectes seran més elevats. En aquest cas la tensió que arriba es d'uns 12V ja que es fa servir la mateixa font d'energia que els motors.

Les funcions de la Jetson son:

- Processar les imatges que rep via USB de la camera externa dual ZED.
- Rebre instruccions pel xBox Joystick via USB.
- Enviar instruccions via Wi-fi a la raspberri.

- Dual Zed Cameras

La càmera dual Zed, és una càmera amb un cost elevat que té com a particularitat que dona informació en tres dimensions del que està enfocant. Aquesta informació la envia amb una exactitud mil·limètrica distàncies d'entre 0,5 i 20 metres a 100 FPS.

L'alimentació es de 5V a 0,34A i es realitza via USB de la mateixa forma que la comunicació amb la Jetson.

- comandament xBox

El comandament de la xBox es connecta i s'alimenta via USB amb la Jetson i la seva funció es enviar dades dels botons (sensors) cap a la Jetson.

- Raspberry

La raspberry s'alimenta via USB amb la Jetson, però la comunicació es fa via Wi-Fi a través d'un router.

Les funcions de la raspberry son les següents:

- Rebre dades de la Jetson.
- Enviar una senyal PWM de control al motor de direcció.
- Enviar sis senyals de control al controlador dels motors de tracció. Aquestes senyals es corresponen amb dos PWM i quatre senyals binàries per gestionar el comportament del motor de tracció.

- Router

Per habilitar la comunicació entre Jetson i Raspberry es requereix un router. Es va implementar d'aquesta manera per comunicar altres elements, com un portàtil, sense fer servir més cables. El router emprat al laboratori es un modem genèric. Si s'han de realitzar proves a l'exterior s'ha de configurar la Jetson i la Raspberry així com un mòbil que faci la funció de router. Aquest modem s'alimenta d'una connexió a 220W.

- Controlador polulu dual VNH-5019

El controlador VNH-5019 proveeix un control estàndard per a motors de corrent continua. El controlador requereix els següents inputs:

- Una senyal de 5V i una de terra per fixar el '1' lògic.
- 4 senyals lògiques son necessàries per comunicar quin es el comportament esperat per a cadascun dels motors segons una taula facilitada pel fabricant. Podem triar si girar un motor cap endavant, els dos cap endarrere, un en cada sentit... .
- 2 senyals PWM per indicar el temps de funcionament de cada motor. Una senyal amb un 50% mourà el motor la meitat del temps amb la qual cosa funciona a la meitat de la seva màxima capacitat (velocitat).
- 1 senyal de tensió de 12V i una senyal de terra.

Segons els inputs el controlador generarà un output per a cada motor. Bàsicament regulara la direcció de la corrent per fer funcionar el motor en sentit horari o antihorari i la velocitat de cadascun.

- Motor de direcció

El motor fet servir per controlar la direcció és el HS-5765MH del fabricant Hi-tech multiplex. És un servo motor que requereix 3 inputs per funcionar:

- Tensió d'entrada a 7,4V
- Connexió a terra
- Senyal PWM de 3,6 a 5V

Aquest motor segons la senyal PWM rebuda genera com a output una posició. Treballa a 50Hz i en un rang de 900 a 2100 microsegons.

Si volem fixar la posició centrada del motor, enviem una senyal PWM de 1500 microsegons, és a dir, un 7,5% del temps d'un període, la senyal estaria en alta. Aquesta senyal identifica la posició centrada.

Aquest motor és el que no funcionava, a l'iniciar el sistema, el motor girava cap a la dreta demanant gran corrent fins a cremar-se dues unitats. Per evitar tornar a cremar el motor es va decidir abans d'incorporar-me al projecte instal·lar un fusible de 2.5 A, donat que el motor treballa com a màxim a 2.2 A.

- Motors de tracció

Els motors de tracció son els que venien incorporats al vehicle i per motius logístic no s'ha tingut accés al model concret, però sabem que son motors que funcionen amb corrent continua i a una tensió de 12V.

- Fonts d'alimentació

Tenim dos fonts d'alimentació al sistema, la primera es una bateria externa de liti que genera 7.4 V i 2200 mA, aquesta bateria s'encarrega d'alimentar el motor de direcció exclusivament. D'altra banda tenim la bateria del cotxe de Ni-Pb de 12V que alimenta la Jetson i els motors de tracció. Aquesta bateria està connectada a un interruptor que permet distingir entre un mode de càrrega quan es connecta a 220W i el mode de funcionament.

El sistema no estava documentat, només existien dos fulls que explicaven com iniciar el sistema i un petit esquema de connexions de la raspberry sense claredat.

4.3.2 Modificacions realitzades

A partir del model inicial, es van planificar un seguit de tasques per afegir i corregir funcionalitats a efectes de obtenir un prototip estable.

Aquestes tasques es van realitzar seguint la metodologia SCRUM, assignant i modificant les prioritats, planificant els recursos necessaris i seguint un protocol d'integració de forma modular, és a dir, es van encapsular

funcionalitats en mòduls i es va treballar sobre aquests fins obtenir el resultat esperat.

El protocol recomanat com a bona pràctica consisteix en:

- Aïllar l'element a analitzar el màxim possible per reduir la cerca del problema. Per exemple, alimentar amb un font regulable per descartar problemes relacionats amb alimentació.
- Testejar la seva funcionalitat de forma simple, es recomanable tenir un conjunt de proves de validació, que permetin avaluar el comportament d'un element de forma simple, si testegem un motor, es convenient tenir una programa amb una rutina que el faci girar cap a una direcció, modificar la velocitat, canviar el sentit de gir... Així podem detectar en quins moments falla (o no) el motor.
- Si el comportament es correcte, el següent pas es integrar l'element dins del seu mòdul que encapsula la seva funció, és a dir, connectar-lo amb els elements que conformarien la funcionalitat: font d'energia, controladors, altres elements..., però sense interactuar encara amb la resta del sistema.
- Quan el mòdul es comporta de forma correcte en aquest punt, es el moment de comunicar-lo amb altres mòduls o amb el sistema.

Amb aquesta pràctica es va descartant l'origen dels comportaments no desitjats. El no realitzar aquest procediment pot comportar un augment important en les hores dedicades a cercar la font de l'error.

Una vegada esmentat el protocol que es va fer seguir, es desenvolupen les tasques proposades:

1- Identificar el mal funcionament del motor de direcció

Per a resoldre el problema el primer que es va realitzar va ser una exploració del programari software fet servir. Aquest programari està basat en Py2Go[3], una llibreria que facilita la comunicació entre la raspberry i els actuadors basada en python.

Durant la exploració, es va observar que la generació inicial del PWM no es realitzava correctament i no tenia cap mecanisme per acotar senyals, aquestes podien sortir fora del rang de treball del motor de direcció.

Es va corregir aquest comportament i com a resultat el motor va deixar de moure's cap a la dreta sense parar, però va començar a tenir un comportament erràtic, cremant fusibles i responent aleatòriament a les ordres.

Per tant, seguint el protocol esmentat anteriorment, es va extreure el motor del sistema per validar el seu comportament de forma aïllada. Els passos que es van seguir van ser el següents:

- Alimentar el motor des de una font de tensió regulable

- Monitoritzar la senyal PWM generada per la raspberry

D'aquesta forma, l'únic que podia originar un mal funcionament s'intuïa com la senyal PWM.

Els resultats d'aquesta prova van ser, per una banda, la senyal PWM estava al limit del llinar mínim per funcionar amb el motor però sembla suficient per fer-lo funcionar. D'altra banda, la font de tensió regulable experimentava curtcircuits i per tant un comportament no desitjat. Es va provar amb una altre font de tensió i el resultat va ser el mateix.

Es va concloure que la senyal de control era correcte i que el motor podia estar funcionalment inoperatiu degut a proves anteriors. Les decisions que es van prendre a partir d'aquests resultats van ser les següents:

- Comprar un nou motor del mateix model.
- Substituir els fusibles per un regulador de tensió.
- Comprar un tester per al motor[4].

2- Substituir el motor seguint el protocol proposat.

Amb el nou motor es va seguir el mateix protocol que amb l'anterior. En aquest cas, com es disposa d'un tester per al motor es va fer servir aïllant el controlador raspberry. El comportament del motor va ser correcte. Per tant, es va pujar un nivell dins del protocol procedint a validar el que esdevindrà el mòdul del motor de direcció. Es va provar el motor substituint la senyal de control del tester per la generada per raspberry.

El resultat va ser que el motor responia correctament a la senyal però amb una petita "vibració", és a dir, el motor no es quedava en una posició estable i feia petits moviments esquerra-dreta entorn la posició fixada. Aquests moviments no semblen que puguin afectar el comportament general del sistema, però no és raonable en termes de robustesa i fiabilitat continuar fent servir la raspberry.

Es plantegen dues possibles causes que poden originar aquesta vibració: o bé la senyal de sortida del GPIO de la raspberry està molt a prop del llinar mínim de funcionament, o bé la raspberry no es capaç de generar una senyal estable per a aquest tipus de motor. La senyal generada per la raspberry es entre 3.3 i 3.6V, i la senyal mínima de funcionament del motor es 3.5V. Com la sortida d'un arduino es de 5V, es realitza una prova substituint la senyal generada per la raspberry per la del arduino.

3- Provar arduino com a controlador.

Seguin el protocol, es va aïllar el motor de la resta d'elements, connectant a la font d'alimentació regulable les entrades de tensió i terra al motor i com a senyal de control la generada per un programa amb l'arduino. L'arduino es va alimentar via USB a

través d'un ordinador amb connexió USB. El resultat de la prova amb l'arduino va ser un comportament totalment estable.

Com a resultat de les proves es va plantejar canviar la raspberry per l'arduino.

Aquesta modificació implica gestionar també la comunicació amb arduino del controlador VNH5019. La previsió per realitzar aquestes modificacions i substituir doncs la raspberry com a controlador per l'arduino sembla viable.

Donat que el sistema té un comportament en aquest moment mínimament funcional i per requisits de temps d'altres desenvolupadors implicats en el projecte (estudiants estrangers que han de tornar al seu país), s'ha decidit postposar aquesta tasca per un futur. Un motiu important que ha fet postposar la tasca es l'absència de documentació de com es realitza la comunicació de la raspberry amb el controlador VNH5019 per gestionar els motors de tracció.

4- Instal·lar una pantalla de dimensions reduïdes.

Amb l'objectiu de tenir accés a informació del sistema mentre està en funcionament es procedeix a instal·lar una pantalla o *display* al sistema.

Inicialment en les proves al laboratori es pot accedir a aquesta informació realitzant una connexió *ssh* des d'un ordinador extern. Aquest fet comporta que al sortir a l'exterior aquesta comunicació requereixi un treball addicional segons l'element que es faci servir de router. Per tant, la instal·lació d'un *display* queda justificada ja que estalviarà temps i recursos en un futur.

El dispositiu seleccionat es el *display* oficial de raspberry[5]. S'ha seleccionat aquest dispositiu per la seva alta documentació, per disponibilitat immediata i baix cost, i perquè ja estem fent servir un dispositiu raspberry.

Seguint el protocol proposat, s'ha fet servir una raspberry externa amb una instal·lació linux nova per a provar la funcionalitat.

El *display* s'alimenta per dos pins de connexió: 5V i terra. Es necessari un corrent de 2.5A per a un correcte funcionament. La comunicació es realitza per un cable DSI. DSI es un bus sèrie de control amb el seu protocol de comunicació. Alternativament es pot connectar la pantalla amb dos connexions addicionals: SDA i SCL, corresponents a un protocol de comunicació I2C.

Es valida el comportament del element i es procedeix a integrar-lo en el sistema. Aquí es detecten diferents problemes:

- La pantalla no es pot connectar per els pins lògics de 5V, ja que es fan servir per el controlador del

motor de tracció. Enllaçar diferents elements en aquesta sortida de tensió no es una bona pràctica, donat que un mal funcionament pot afectar de forma negativa a diferent recursos.

- El segon problema es que l'alimentació que arriba no es suficient. Quan es connecta la raspberry directament amb la Jetson, un missatge de baix voltatge apareix a la pantalla, tot i que funciona. Al connectar la raspberry a través del hub, la pantalla no funciona correctament i s'atura.

Els resultats obtinguts generen la necessitat de trobar una forma alternativa d'alimentar la raspberry perquè generi la energia suficient per alimentar la pantalla. Com la raspberry ofereix la possibilitat d'alimentar-se a través d'una font d'alimentació externa, es pot optar per proveir alimentació per aquesta via o bé, eliminar el hub, tot i que aquesta opció no sembla viable donat que la Jetson només té una connexió USB i es necessita tenir la càmera dual ZED connectada.

5- Substituir la connexió entre raspberry i Jetson de Wi-Fi per Ethernet.

Per facilitar la comunicació entre raspberry i Jetson fora del laboratori es decideix implementar una nova comunicació fent servir un protocol diferent. Els protocols mes adients son USB i Ethernet, donat que ambdós sistemes tenen aquests mòduls integrats.

En aquest cas, s'ha optat per realitzar una connexió via Ethernet ja que els canvis software són senzills i la implementació és pràcticament immediata: connectar un cable Ethernet als connectors RJ45 de la raspberry i la Jetson respectivament i configurar la interfície de xarxa.

Com a resultat de la tasca, ara em d'adaptar la part software que realitza la comunicació, però el sistema no depèn de un router extern. Això comporta que per visualitzar dades es necessita resoldre la implementació d'una pantalla en el sistema.

6- Modificar el sistema d'alimentació

Per últim, el sistema actual de bateries fa servir la bateria que incorporava el cotxe, per realitzar proves al laboratori es connectava la Jetson al corrent 220W, el motor de tracció a la bateria incorporada de sèrie i el motor de direcció la bateria externa de 7.4V. Això comporta que sempre es fa servir la bateria de tracció inclús a les proves de laboratori, amb la qual cosa i per l'ús anterior, la bateria ha perdut molta capacitat i realitzar proves a l'exterior no es viable.

Es proposa modificar l'esquema actual conservant la bateria per al motor de direcció i adquirir una nova bateria de forma que amb un connector es pugui connectar al corrent 220W per realitzar proves al laboratori o bé a la bateria quan es realitzin proves a l'exterior. D'altra banda serà necessari alimentar la

Jetson amb una font addicional.

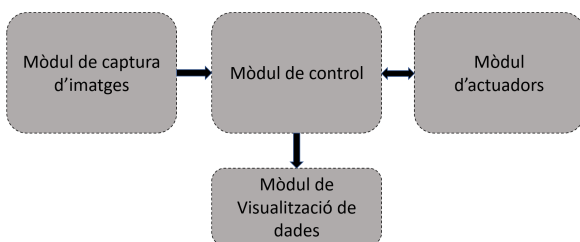
Es decideix fer servir una *power traveller bank*[6] per alimentar la Jetson i una bateria d'alta capacitat per als motors de tracció.

Aquestes han sigut les tasques desenvolupades durant el projecte, en l'apartat resultats es troba la nova figura de l'arquitectura i un resum del treball resultat, a més s'exposa el funcionament del sistema. En el següent apartat s'indiquen propostes de millora per al prototip desenvolupat que es poden implementar en el futur.

4.3.3 Propostes de millora

Partint de la base que aquesta opció per desenvolupar el prototip no ha estat valorada com la més adient, aquest apartat combina en dos blocs: el primer tracta sobre una proposta de model arquitectònic per a desenvolupar un projecte similar, i el segon, un conjunt de modificacions per al prototip sobre el que s'ha centrat el treball.

El desenvolupament del prototip es proposa de forma modular seguint l'esquema de la figura.



Els mòduls han d'encapsular funcionalitats de forma que es puguin integrar en altres sistemes de forma senzilla. Seguint l'esquema i associant amb el projecte tenim:

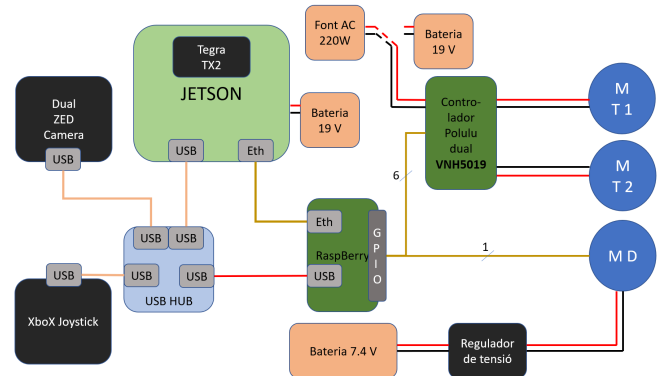
- Mòdul de captura d'imatges. Aquest mòdul serveix com a input i el conforma la càmera dual Zed, aquesta càmera proporciona un hardware que realitza un processament amb les dades rebudes i les envia al mòdul de control. Aquest modul està ben definit i documentat i per tant es pot integrar en altres projectes amb facilitat.
- Mòdul de control. Aquest mòdul es l'encarregat de gestionar les dades rebudes de la càmera i tractar les dades per generar outputs per al mòdul d'actuadors i per al mòdul de visualització de dades. Aquest mòdul s'identifica com la Jetson en el projecte actual. L'output generat està ben definit per als actuadors, però no està definida la part de visualització de dades.
- Mòdul d'actuadors. Aquest mòdul rep les dades del mòdul de control i es l'encarregat de generar respostes físiques a través de motors o altres actuadors. Aquest mòdul el conformen dos controladors i tres motors. Idealment es pot realitzar el control dels tres motors amb un únic controlador o bé, si el nombre d'actuadors creix, centralitzar els actuadors en un controlador que gestioni les comunicacions amb el modul de control i s'encarregui de repartir les ordres a cada actuator o controlador. Això facilita la integració del mòdul en un altre sistema afegint o eliminant els elements que es requereixin.

- Mòdul de visualització de dades. Aquest mòdul es planteja per la necessitat de visualitzar l'estat del mòdul de control. Quan es realitzen proves a l'exterior si el sistema deixa de funcionar es convenient tenir informació del que està succeint per intentar esmenar el problema de forma immediata. El prototip no té aquest mòdul desenvolupat, per tant, un objectiu de cara al futur proper és continuar amb el desenvolupament d'aquest mòdul. Aquest mòdul no és necessari per a que el sistema funcioni i per tant ha de ser extraïble sense que afecti a la resta de mòduls.

Una proposta de millora per al desenvolupament de prototips en l'àmbit del treball és la creació d'una plataforma motriu que permeti la integració de diferents mòduls. Si es continua amb la compra de diferents models de vehicle i s'han de realitzar en cada vehicle el cost en termes de temps i material es preveu elevat. Per a cada vehicle s'han de dissenyar peces específiques per a adaptar el sistema, a més hi haurà una dependència segons els motors de cada producte que no proporciona robustesa.

5 RESULTATS

L'arquitectura final del projecte és la següent:



Els resultats obtinguts son satisfactoris en relació a les tasques planificades i a l'estat inicial del projecte, emfatitzant que no presentava cap tipus de documentació. S'ha solucionat l'error mes important, reparar el control del motor de direcció, amb una inversió de temps molt superior a la que es podia preveure. El sistema ara presenta un comportament funcional estable tot i que s'ha de profunditzar en millorar el control de direcció i afegir la pantalla per visualitzar informació mentre el sistema opera.

Aquestes millores s'han iniciat amb resultats positius i s'ha de continuar treballant per substituir el controlador de raspberry per l'arduino ja que s'ha verificat que el comportament final és més precís que l'actual.

La raspberry es podria aprofitar amb la pantalla com a modul addicional per visualitzar les dades. Es podria alimentar el conjunt amb una bateria portàtil que proporcioni 5V i 2.5A, aquestes bateries son comunes al mercat i tenen un cost molt baix. La connexió es podria realitzar via USB aprofitant que el HUB disposa de ports d'entrada-sortida lliures.

D'altra banda la realització d'aquest treball serveix com a guia de documentació del projecte, aspecte a des-

tacar ja que nous desenvolupadors poden fer servir aquest treball com a referència.

6 CONCLUSIONS

L'objectiu principal del projecte s'ha assolit mitjançant la depuració i millora d'un prototip anterior. L'absència de documentació de l'estat inicial del prototip ha estat un factor determinant per l'avanç del treball.

Identificar i justificar els requisits del projecte a l'inici ha ajudat a visualitzar una idea de com havia de ser el prototip, això ha permès orientar i justificar les decisions que s'han anat prenent al llarg del treball.

Valorar diferents opcions ha aportat una aproximació de l'estat de l'art actual. S'han analitzat diferents productes i models per a implementar un prototip i s'ha conclòs que la millor opció és l'adquisició d'un prototip orientat a desenvolupament que proporcioni documentació. En absència d'inversió econòmica es recomana realitzar un prototip basat en una arquitectura basada en mòduls que encapsulin funcionalitats i permeti realitzar modificacions al sistema de forma senzilla i documentada.

Implementar el prototip ha suposat identificar l'origen de diferents mal funcionaments, planificar l'ordre de tasques, cercar components per a la seva adquisició o per a entendre i documentar el seu funcionament.

Com a conseqüència de la execució d'aquestes tasques, s'ha proposat un protocol que ajudi a identificar la font dels errors més ràpidament. Aquest protocol ha ajudat a estalviar temps de depuració d'errors. Una altre conseqüència ha estat la creació d'un model arquitectònic basat en mòduls. La voluntat d'aquest model és la separació de funcions per mòduls que permeti integrar els mateixos en altres projectes similars i aprofitar part del treball en d'altres.

Han quedat pendent finalitzar els subobjectius d'implementar un sistema de depuració i visualització de dades i adaptar el programari software per a la comunicació via ethernet. Aquest objectius s'han realitzat fora del sistema però s'han d'integrar al sistema. La integració no s'ha dut a terme per la falta de temps deguda a canvis en la planificació original (*veure Apèndix A.1*).

En el futur es proposa la creació d'una plataforma motriu estable a la que es puguin integrar diferents mòduls de control. Continuar amb la pràctica d'adquirir diferents vehicles i adaptar-los no s'ha demostrat com a opció viable a llarg termini, ja que implica la creació d'un mòdul d'actuadors diferents i una feina addicional específica de cada model de vehicle per a integrar físicament el sistema.

AGRAÏMENTS

Vull agrair la confiança depositada en mi per part del departament d'arquitectura de computadors i del centre de visió per computador a l'hora d'obrir-me les portes i oferir els seus recursos per a realitzar el treball.

Especialment vull agrair la col·laboració de Joan Ramon Jiménez Minguell, treballador del CVC, per la seva paciència i disponibilitat.

REFERÈNCIES

- [1] <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/> Consultat el 22-3-2018
- [2] <https://racecarj.com/> Consultat el 13-3-2018
- [3] <https://github.com/jianyuan/py2go> Consultat el 21-3-2018
- [4] <http://www.myrcmart.com/rcx-easy-servo-consistency-master-servo-tester-p-3767.html> Consultat el 21-5-2018
- [5] <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-touch-display/> Consultat el 2-5-2018
- [6] <https://www.powertraveller.com/en/shop/portable-chargers/professional/mini-g/> Consultat el 21-6-2018

APÈNDIX

A.1 Planificació de tasques

A continuació es detalla la planificació seguida, les hores previstes, i les hores emprades finalment

1. Cerca sobre l'estat de l'art
Hores previstes: 16. Hores reals: 24.
La cerca ha implicat visualitzar diferents vídeos relacionats amb el projecte i aquest fet ha comportat un augment en les hores.
2. Valorar opcions per dur a terme el projecte
Hores previstes: 16. Hores reals: 20.
3. Instal·lació del Jetpack
Hores previstes: 8. Hores reals: 14.
Errors en la instal·lació i una actualització han comportat un augment del temps.
4. Anàlisi Software
Hores previstes: 8. Hores reals: 12.
Per a identificar problemes i conèixer com es realitzen les comunicacions s'ha cercat el software i la seva arquitectura. S'ha accedit al repositori github de py2go per entendre millor com funciona.
5. Anàlisi Hardware
Hores previstes: 6. Hores reals: 24.
La absència d'informació va implicar fer una cerca dels components i del seu funcionament.
6. Realitzar un esquema de l'arquitectura
Hores previstes: 4. Hores reals: 8.

7. Identificar i solucionar el problema amb el motor de direcció
 Hores previstes: 20. Hores reals: 50.
 Aquesta tasca ha bloquejat part del treball, el motor era l'origen del problema i es va cercar l'error en el software. El motor funcionava de forma aleatòria i això feia pensar que el problema era un altre component.

Aquesta tasca va acabar generant les següents sub-tasques:

7.1 Substituir el motor
 Hores previstes: 8. Hores reals: 8.

7.2 Provar el motor amb arduino
 Hores previstes: 4. Hores reals: 6.

8. Instal·lar un display tàctil per interactuar amb el sistema
 Hores previstes: 20. Hores reals: 8.
 S'ha provat que el producte funciona, però no s'ha integrat.

9. Test del sistema en un entorn real
 Hores previstes: 20. Hores reals: 0.
 El prototip no està preparat per a realitzar aquesta tasca.

10. Documentació del projecte
 Hores previstes: 20. Hores reals: 40.
 Realitzar la documentació ha comportat més hores de les esperades. Recopilar la informació, estructurar-la, generar les imatges ha suposat més temps del previst.

A.2 Llista de materials (BOM)

A continuació es proporciona una llista amb els materials que costaria fer un nou prototip sense contemplar mà d'obra.

Qtat preu x1 preu x100

Vehicle	1	300 €	300 €
Motor de direcció	1	100 €	80 €
Peçes 3D	1	17 €	17 €
Jetson	1	300 €	300 €
Raspberry	1	30 €	30 €
regulador tensio	1	18 €	18 €
display	1	70 €	70 €
controlador polulu	1	50 €	40 €
zed camera	1	400 €	400 €

bateria 7.4	1	14 €	14 €
bateria 12V	1	19 €	19 €
bateria 19V	1	124 €	124 €

altres	1	5 €	5 €
--------	---	-----	-----

Cost total unitari 1.447 € 1.417 €

El cost d'alguns elements es pot reduir si es fabriquen grans quantitats i si s'adquireix la Tegra TX2 sense el kit, però

això implica crear una placa pròpia amb els connectors necessaris. El conjunt de càmera, tegra o Jetson i adquirir un vehicle encara que sigui d'ocasió o segona mà, fa superar dels mil euros el conjunt.

A.3 Imatges del prototip

Figura del cotxe:



Figura del mòdul de control:

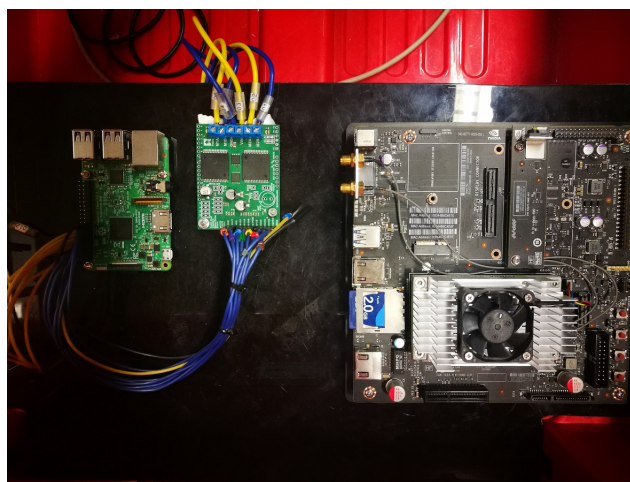


Figura del sistema de alimentació:

