

# Sistema de Visió Omnidireccional per a Vols amb Drons

David Bracero Hernández

**Resum**—En aquest document es presenta un sistema de visió estèreo binocular basat en dues càmeres idèntiques amb lents d'ull de peix de 220°. Posicionades respecte un mateix eix vertical, però enfocant en sentits oposats, aquestes càmeres permeten obtenir dos hemisferis de 360 per 220°, corresponents a la meitat superior i inferior d'una esfera completa. D'aquesta manera s'obté una regió comuna a ambdues imatges, fet que permet obtenir disparitat entre elles i, per tant, visió estereoscòpica. L'objectiu principal d'aquest projecte és, doncs, estudiar si amb aquest tipus d'imatges podem construir un sistema de visió omnidireccional per a drons que permeti detectar de manera eficient possibles obstacles que puguin afectar el vol o a la integritat del dispositiu.

**Paraules clau**—Visió, omnidireccional, estèreo, binocular, fisheye, UAV, obstacles, VR.

**Abstract**—This paper presents a binocular stereo vision system based on two identical cameras with 220° fisheye lenses. Positioned on the same vertical axis, but looking on opposite directions, these cameras allow to obtain two hemispheres of 360 by 220°, corresponding to the upper and lower half of a complete sphere. This way, a common region is obtained on both images, allowing to get disparity between them and therefore, stereoscopic vision. The main objective of this project is thus to consider whether these images can be used to build an omnidirectional vision system for drones to allow detecting in an efficient way possible obstacles which could affect the flight or the device integrity.

**Index Terms**—Omnidirectional, binocular, stereo, vision, fisheye, UAV, obstacles, VR.

---

## 1 INTRODUCCIÓ

El nombre de vendes de UAVs d'ús comercial fa anys que es troba en creixement. Tan sols aquest any s'espera que les vendes creixin un 128% respecte a l'anterior, per valor de 3.400 milions de dòlars [1]. Aquesta comercialització de la indústria fa possible que gran diversitat de sectors (cinema i televisió, organismes de l'estat, institucions d'investigació, desenvolupament i recerca...) puguin fer ús de UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) per a dur a terme tasques que anteriorment requerien, per exemple, disposar de vehicles tripulats com helicòpters.

Altres camps que també estan experimentant una expansió important durant els darrers anys són el de la visió 3D, conjuntament amb els sistemes d'immersió i realitat virtual. Tot i que durant anys aquests s'han mantingut en un estat latent (possiblement degut a les limitacions en el hardware de l'època), tot apunta al fet que, segons l'opinió del 95.5% dels desenvolupadors de realitat virtual i augmentada [2], finalment ara marcaran l'inici del desenvolupament de noves maneres d'experimentar i interactuar amb les tecnologies de la informació.

En l'actualitat existeix una àmplia varietat de sistemes de visió per a UAVs (Unmanned Aerial Vehicles). Es poden trobar sistemes de tot tipus: monoculars, binoculars, estereoscòpics, omnidireccionals, etc. El denominador comú d'aquests sistemes és que es tracta de càmeres generalment cares, o que no es troben a l'abast de tothom. A *The Fulldome Blog* [3] hi apareix un extens llistat de configuracions i models de càmeres que permeten obtenir visió omnidireccional.

En aquest TFG construirem una plataforma d'adquisició d'imatges embarcada per a UAVs i la testejarem amb la realització d'un cas concret d'un sistema de visió omnidireccional per a drons. El sistema que es proposa consta de dues càmeres oposades [4], cadascuna amb una lent *fisheye* de 220°. Com que l'angle de visió és superior a 180°, podrem obtenir una regió de disparitat, gràcies a la qual podrem construir un mapa de profunditat que ens permetrà detectar possibles obstacles (*Figura 1*).

- 
- E-mail de contacte: [David.Bracero@e-campus.uab.cat](mailto:David.Bracero@e-campus.uab.cat)
  - Menció realitzada: *Enginyeria de Computació*
  - Treball tutoritzat per: *Felipe Lumbreras Ruiz (Ciències de la Computació)*
  - Curs 2016/17

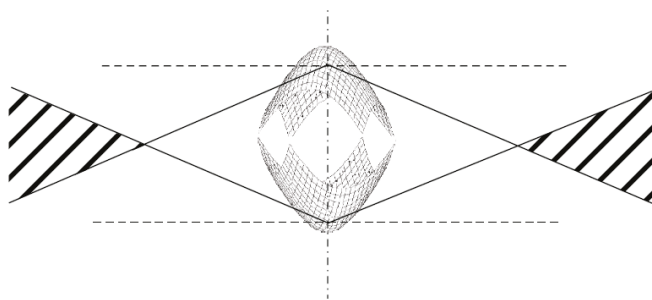


Fig. 1: Disposició de les càmeres (extret de [4]).

## 2 ESTAT DE L'ART

Com ja s'ha esmentat anteriorment, existeix un gran nombre de models de càmeres omnidireccionals, amb sistemes cada cop més sofisticats. El principal problema és que no es tracta d'un producte gaire comú i, per tant, només es pot obtenir a comerços molt especialitzats i els seus preus són relativament alts. D'altra banda, les lents d'ull de peix són molt utilitzades en una gran quantitat d'àmbits diferents. Per aquest motiu, en la realització de la plataforma d'adquisició que es farà servir en aquest projecte s'ha decidit fer ús d'aquest tipus de lents, ja que a més farà possible posicionar-les de manera que el dron quedi entremig d'ambdues, obstruint el mínim possible la visió de les càmeres.

Pel que fa a la visió estèreo, els models convencionals de càmeres només cobreixen un angle determinat, i els models omnidireccionals no són gaire assequibles avui dia. Així doncs, per tal d'aprofitar el fet que la plataforma disposa de dues càmeres amb una regió de solapament, s'ha decidit investigar sobre la possibilitat de detectar profunditat fent ús d'aquestes en comptes d'afegir més càmeres, fet que incrementaria notablement el cost final del producte.

Finalment, en relació a la realitat virtual, cal remarcar el creixement que l'ús d'aquesta tecnologia està experimentant en una gran varietat de sectors que van des de l'ensenyament i la cultura, fins als videojocs. Tan sols durant el 2016 aquest sector va generar 5.100 milions de dòlars [5], convertint-se en l'àmbit capdavanter en el desenvolupament i recerca en el camp de la realitat virtual. I a mesura que avança la tecnologia, més i més camps estudien la seva integració gràcies als avantatges i possibilitats que proporcionen els sistemes immersius. És per tot això que per a la realització de part d'aquest projecte s'ha considerat utilitzar un HMD (head-mounted display) que proporcionarà una experiència immersiva posant en comú la visió omnidireccional obtinguda a partir de la plataforma, així com la detecció de profunditat.

## 3 OBJECTIUS

Els principals objectius d'aquest TFG són:

- Obtenir visió omnidireccional des del punt de vista del dron.

- Poder detectar possibles obstacles durant el vol.
- Disposar d'una aplicació que faci ús d'un sistema d'immersió (realitat virtual o VR) per tal de poder disposar d'una visió més intuïtiva per a l'usuari.

Cadascun d'aquests objectius es divideix en múltiples tasques que queden reflectides a la *Figura 2*.

Nom de la tasca	Durada	Inici	Final
Sistema de visió omnidireccional per a vols amb drons	314 hores	11/07/16	30/01/17
1.0 – Recerca	72 hores	11/07/16	12/09/16
1.1 - Consultar l'estat de l'art	24 hores	11/07/16	19/07/16
1.2 - Consultar la bibliografia	48 hores	20/07/16	12/09/16
2.0 – Documentació	30 hores	26/09/16	30/01/17
2.1 - Redactar l'informe inicial	6 hores	26/09/16	26/09/16
2.2 - Redactar l'informe de progrés 1	6 hores	02/11/16	02/11/16
2.3 - Redactar l'informe de progrés 2	6 hores	12/12/16	12/12/16
2.4 - Redactar l'informe final	6 hores	16/01/17	16/01/17
2.5 - Preparar la defensa	6 hores	30/01/17	30/01/17
3.0 – Plataforma	24 hores	04/10/16	13/10/16
3.1 - Realitzar proves de velocitat/estrès (no ROS)	12 hores	04/10/16	06/10/16
3.1.1 - 2xUSB3 (Full, HD, VGA)	4 hores	04/10/16	04/10/16
3.1.2 - 2xUSB2 (Full, HD, VGA)	4 hores	05/10/16	05/10/16
3.1.3 - USB2 + USB3 (Full, HD, VGA)	4 hores	06/10/16	06/10/16
3.2 - Realitzar proves de velocitat/estrès (ROS)	12 hores	10/10/16	13/10/16
3.2.1 - 2xUSB3 (Full, HD, VGA)	4 hores	10/10/16	10/10/16
3.2.2 - 2xUSB2 (Full, HD, VGA)	4 hores	11/10/16	11/10/16
3.2.3 - USB2 + USB3 (Full, HD, VGA)	4 hores	13/10/16	13/10/16
4.0 - Mapa de profunditat	108 hores	17/10/16	06/12/16
4.1 - Implementar cal·libració subpíxel	20 hores	17/10/16	24/10/16
4.2 - Cal·librar amb targets a diferents distàncies	20 hores	25/10/16	03/11/16
4.3 - Obtenir la profunditat amb selecció de punts manual	12 hores	07/11/16	09/11/16
4.4 - Obtenir la profunditat amb selecció de punts automàtica	20 hores	10/11/16	17/11/16
4.5 - Generar un mapa dens de profunditat	20 hores	21/11/16	28/11/16
4.6 - Visualitzar el mapa de profunditat	8 hores	29/11/16	30/11/16
4.7 - Avaluat l'error	8 hores	01/12/16	06/12/16
5.0 – VR	80 hores	05/12/16	11/01/17
5.1 - Desenvolupar un framework en Android amb GoogleVR SDK	32 hores	05/12/16	15/12/16
5.2 - Obtenir un panorama de 360º monocular	8 hores	19/12/16	19/12/16
5.3 - Remarcant possibles obstacles a la regió de disparitat	12 hores	20/12/16	22/12/16
5.4 - Avaluat l'error	8 hores	02/01/17	03/01/17
5.5 - Generar la seqüència de vídeo 3D a partir de les imatges obtingudes	20 hores	04/01/17	11/01/17

Fig. 2: Arbre d'objectius del TFG.

Les càmeres de què es disposa són de 5 megapíxels, amb una freqüència d'adquisició de 14 imatges per segon. Tot i que aquesta velocitat de fotogrames no és l'adequada per a generar una seqüència de vídeo VR, sí que ho serà per a desenvolupar un prototipus que permeti realitzar proves de viabilitat d'un sistema que combini ambdós, visió estèreo i realitat virtual, tot mitjançant hardware de baix cost. Així doncs, el desenvolupament del projecte se centrarà principalment en el calibratge i estimació de profunditat, així com en la visualització d'imatges estàtiques mitjançant un dispositiu HMD.

## 3 METODOLOGIA

La metodologia que s'adoptarà per a la realització del TFG és una adaptació de SCRUM. Com que únicament hi treballarà una persona, determinats aspectes de la metodologia com els rols no es podran aplicar. La idea consisteix

a desenvolupar seqüencialment les tasques tenint en compte la possible volatilitat dels requeriments, i dur a terme reunions periòdiques amb el tutor, com si es tractés del client. L'objectiu d'utilitzar aquesta metodologia és el d'assegurar resultats periòdicament, progressant de manera adequada en el desenvolupament del projecte.

La metodologia proposada a l'informe inicial permet desenvolupar les tasques de manera adequada. Tot i així, per a aprofitar millor el temps, el desenvolupament de les tasques deixarà de ser seqüencial i permetrà variar l'ordre en què aquestes es realitzen, permetent així l'adaptació a la disponibilitat dels recursos necessaris per a dur-les a terme. Així doncs, la planificació s'ha vist també afectada, i els canvis es detallen a la secció corresponent.

## 4 PLANIFICACIÓ

A l'Apèndix A1, Figura 16, es troba el diagrama de la planificació del projecte. En ell s'hi distingeixen 5 grups principals: Recerca, Documentació, Plataforma, Mapa de profunditat i VR. Durant la fase de Recerca es va dur a terme una acurada investigació respecte a l'estat de l'art, així com una consulta de bibliografia relacionada amb el tema. Pel que fa a la fase de Documentació, aquesta consta de 5 fites, les quals s'ha considerat que es poden superposar amb la resta de fases, ja que en principi no es contempla que afecti a aquestes. Les 3 fases restants corresponen al desenvolupament pràctic del TFG. Durant la fase de Plataforma, es duran a terme proves i millores per tal que la obtenció d'imatges s'adeqüi a les necessitats de l'usuari. En la fase de Mapa de profunditat es generarà l'esmentat mapa i es procurarà minimitzar al màxim l'error comès. Finalment, a la fase VR es desenvoluparà l'aplicació d'immersió que permetrà visualitzar de manera intuïtiva el recorregut del UAV.

Tot i que el desenvolupament del projecte passarà a centrar-se en la part d'imatge estàtica, no es descarta realitzar proves de vídeo VR per tal d'investigar les possibilitats del prototipus en possibles línies de continuació del projecte. D'altra banda, els canvis introduïts en la metodologia de treball emprada afecten directament a la planificació estipulada a l'informe inicial, donant com a resultat el diagrama de Gantt de la Figura 17, a l'Apèndix A1.

## 5 RESULTATS

### 5.1 Plataforma

Mitjançant un ordinador de placa reduïda Odroid, s'ha desenvolupat un sistema de captació sincronitzada d'imatges, de mida reduïda i molt lleuger, que pot ser annexat a un UAV per tal d'obtenir imatges aèries (Figura 3). Aquesta plataforma consisteix en un sistema operatiu Ubuntu ARMHF que executa un sistema ROS (Robot Operating System) quan s'inicia. El sistema detecta els sensors connectats al dispositiu, i utilitzant ROS [6], emmagatzema les

dades obtingudes de manera sincronitzada perquè puguin ser extretes en un cop ha finalitzat el vol.

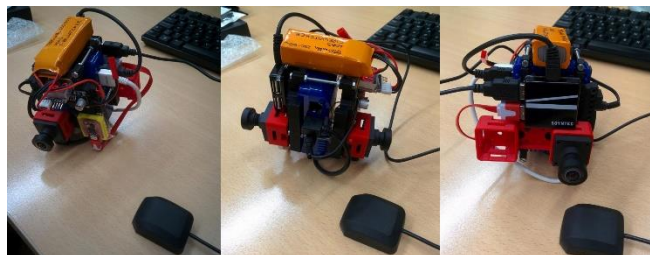


Fig. 3: Plataforma d'adquisició d'imatges.

Actualment el sistema pot funcionar amb fins a dues càmeres Basler dart daA2500-14uc, un GPS i una unitat IMU. És el mateix sistema el que activa els mòduls corresponents a aquells dispositius que té connectats en el moment d'arrencar. La plataforma està pensada per a funcionar amb una bateria externa que li proporciona fins a 30 minuts d'autonomia. També disposa d'un mòdul Wi-Fi mitjançant el qual es pot connectar a un punt d'accés prefixat per a poder accedir al sistema utilitzant SSH, fet que permet, entre d'altres, realitzar els ajustos necessaris abans de la seva utilització.

El disseny del dispositiu consisteix en dos peces impreses mitjançant una impressora 3D (Figura 4) que van muntades a la part superior i inferior de la caixa de l'Odroid i que a la vegada serveixen per a protegir l'ordinador de possibles impactes i per a poder afegir els suports on van acoblades les càmeres.

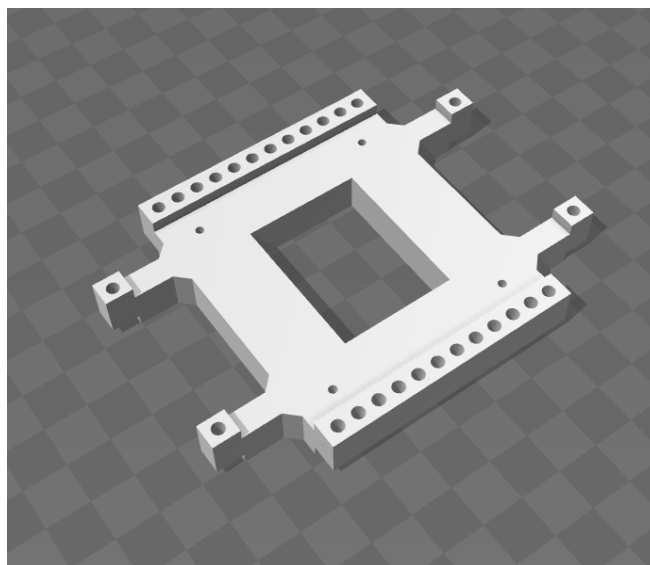


Fig. 4: Disseny 3D d'una de les dues peces de la carcassa exterior de la plataforma.

Un cop acoblada la plataforma, s'ha realitzat una prova de captura d'imatges a la màxima velocitat possible. El resultat amb imatges d'una resolució de 5 megapíxels (és interessant obtenir una alta resolució amb un alt nombre de píxels per polzada), és d'aproximadament 3 frames per segon. Creant un vídeo a partir de la seqüència obtinguda queda patent que amb un hardware de major cost és

viàble realitzar una seqüència de vídeo a una freqüència adient perquè pugui ser visualitzat en dispositius VR. La prova conceptual de vídeo generada amb les imatges obtingudes de les càmeres actuals es troba a "<https://youtu.be/O0AjhCBu-QQ>".

## 5.2 Panorama 360°

A partir de les imatges obtingudes pel dispositiu d'adquisició i fent ús d'operacions trigonomètriques [7], és possible obtenir dos panorames de 360° cadascun. Aquest procediment s'anomena *unwrapping*, o desembolicament en català. A la Figura 5 és pot veure en detall en què consisteix. Així doncs, aplicant el procediment esmentat a les dues imatges obtingudes, el resultat és el que es mostra a la Figura 6. Degut al fet que el tipus de lent utilitzat proporciona més de 180°, una regió de la imatge superior es correspon amb part de la imatge inferior. Això permet que es puguin trobar punts característics a ambdues imatges mitjançant detectors. D'aquesta manera, i aplicant posteriorment les transformacions adequades per tal de posar les dues imatges en correspondència, s'obté una única imatge de panorama de 360°x180°, com es pot veure a la Figura 7.



Fig. 6: Imatges fisheye (esquerra) i panorames desenrotllats (dreta).



Fig. 7: Panorama 360°.

## 5.3 Mapa de profunditat

Per tal de poder calcular la profunditat a la regió de disparitat del panorama, el primer pas és determinar els límits d'aquesta. Un dels mètodes per aconseguir aquest objectiu consisteix a trobar la coordenada vertical de la imatge que es correspon amb l'angle d'incidència de 0°, i assumir que la regió que va des d'aquest punt fins a la part superior (o inferior, depenent de la càmera) de la imatge es correspon a la regió de disparitat. Així doncs, es tracta de desenvolupar un sistema que permeti trobar la correspondència entre la coordenada vertical de la imatge i l'angle d'incidència que forma amb la càmera, i generar una *lookup table* (LUT). S'ha imprès un patró amb una quadrícula de dimensions conegudes, amb la qual s'ha fet un cilindre. Com que tant el radi de la base del cilindre com la longitud del costat dels quadrats de la quadrícula són coneguts, és possible col·locar la plataforma al centre del cilindre i calcular l'arc tangent d'aquests dos valors, obtenint així els angles d'incidència en funció dels píxels verticals de la imatge per al radi del cilindre. No obstant això, l'alta distorsió de la imatge provocada per la lent d'ull de peix no permet obtenir gran precisió, de manera que els resultats obtinguts donen un rang de distància massa ampli (Figura 8).

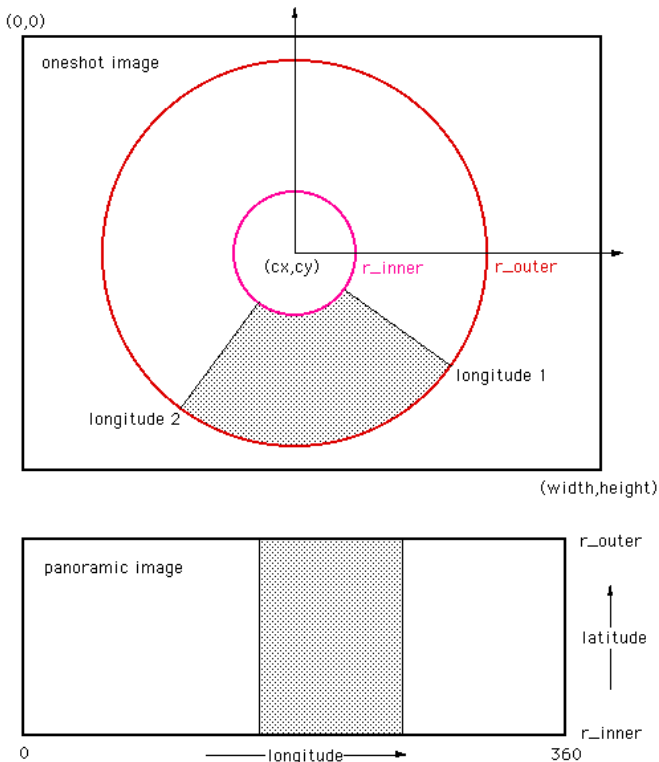


Fig. 5: Esquema del remapejat per al desembolicament d'una imatge omnidireccional.

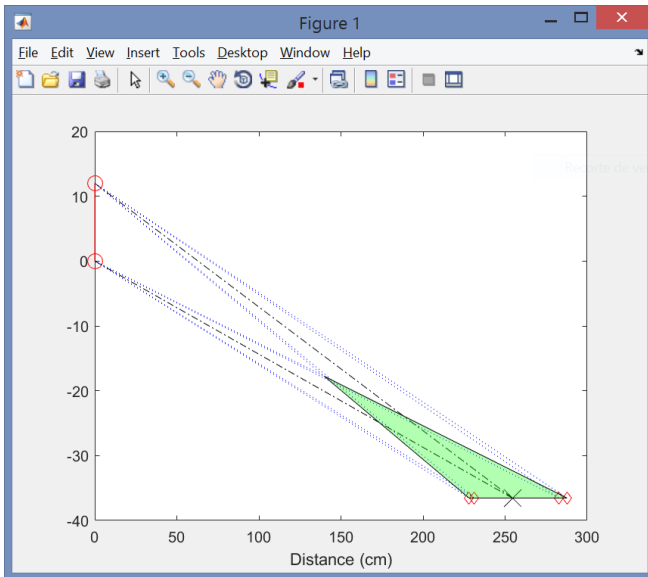


Fig. 8: Simulació del càlcul de distàncies a partir de les equivalències píxels-centímetres obtingudes. Les línies blaves delimiten la incertesa en les mesures obtingudes per un píxel. La regió verda indica els possibles valors de distància a què es pot trobar el píxel seleccionat. Com es pot veure, els resultats obtinguts tenen una gran incertesa.

Un altre mètode més robust i fiable consisteix a utilitzar un detector de punts característics (Figura 9) per tal d’obtenir una homografia d’una imatge respecte a l’altra. Un cop realitzades les transformacions adients, és possible obtenir una màscara que determina la regió comuna a ambdues fotografies.



Fig. 9: Punts característics coincidents a ambdues imatges.

S’han provat diferents detectors [8], amb diferents tipus de transformacions per tal de determinar quin d’ells proporciona el nombre més gran de punts. A la Figura 10 es troba una taula amb els punts coincidents i els *inliers* que se n’han extret.

Match/ <i>Inliers</i>	Affine	Similarity	Projective
MSER	26/5	25/3	25/5
SURF	50/19	50/18	50/16
BRISK	3/3	4/3	4/0
Harris	13/8	10/6	13/7
MinEigen	35/15	35/11	30/17

Fig. 10: Punts coincidents i *inliers* entre els diferents detectors i transformacions per a una imatge de prova.

Com és lògic, els resultats poden variar totalment d’una imatge a una altra. Tot i així, les proves realitzades amb altres imatges donaven un alt nombre d’*inliers* utilitzant el detector *Minimum Eigen*. Així doncs, el detector utilitzat ha estat aquest darrer en combinació amb una transformació projectiva, en la qual la part de la matriu de transformació relativa a la rotació ha estat substituïda per la matriu identitat 2x2 per tal de no trencar la continuïtat en el panorama de 360°.

Un cop han estat obtingudes les dues imatges de la regió comuna, és possible aplicar-hi un algorisme de detecció de disparitat. La particularitat d’aquest procés respecte al càlcul de la disparitat convencional recau en el fet que la disposició de les càmeres és respecte a un eix vertical, a diferència de la majoria de càmeres estèreo, que emulen els ulls humans, amb un eix horitzontal i una separació específica entre elles.

El resultat obtingut, però, no satisfà els requeriments establerts per al projecte pel que fa a precisió. Això pot ser degut al fet que els algorismes de càlcul de disparitat aplicats es veuen afectats negativament per l’alta distorsió de la imatge. La solució a aquest problema podria recaure doncs en aplicar un algorisme centrat a detectar la disparitat vertical, i que tingui en compte el comportament de la lent de cara a les distàncies respecte al centre. Una altra possible causa que explica aquesta falta de precisió recau en què els punts característics trobats pel detector no són forçats a trobar-se a una distància màxima en la imatge, i això pot portar problemes a l’hora de calcular disparitats, ja que els únics punts coincidents en una imatge estèreo són aquells que es troben a l’infinit. Per tant, posant en correspondència punts que no es troben a la màxima distància pot dur l’algorisme de càlcul de disparitat a retornar resultats erronis. A la Figura 11 es mostren els resultats obtinguts utilitzant aquest mètode, i a la Figura 12 apareixen superposats amb el panorama resultant.



Fig. 11: Mapa de profunditat obtingut.



Fig. 12: Mapa de disparitat obtingut aplicat al panorama generat.

Per tal d'entendre millor el comportament de les càmeres pel que fa a la distància amb els objectes, s'ha imprès un patró d'escacs, l'objectiu del qual és que serveixi de diàna per tal de detectar a nivell de subpíxel un mateix punt a les dues imatges mitjançant un detector. Amb les càmeres fixes, i capturant imatges del patró a diferents distàncies conegudes, s'ha anat prenent nota de les coordenades corresponents al punt central d'aquest. Posant aquestes dades a una gràfica (Figura 13), s'observa que la tendència és convergir en el píxel vertical 740 aproximadament, en el qual es pot determinar que es troba l'infinit.

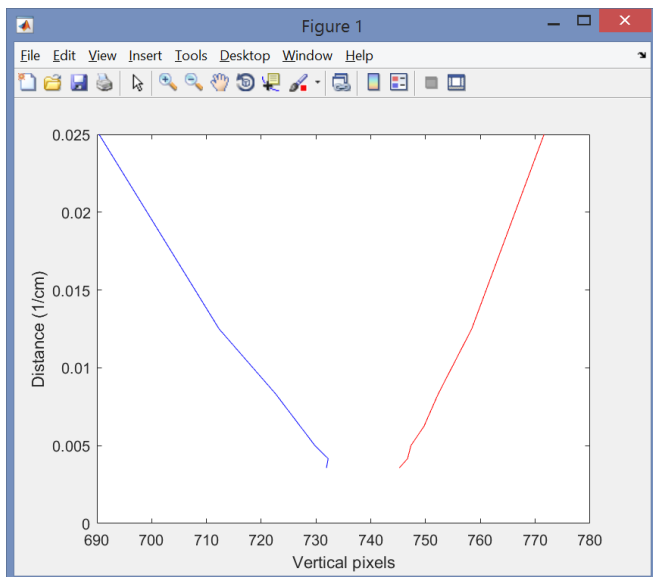


Fig. 13: Gràfic de la tendència dels píxels de les imatges d'ambdues càmeres en relació a la distància a què es troba l'objecte.

## 5.4 VR

Existeixen diversos sistemes HMD per a realitat virtual. Entre els més destacables podem trobar models com l'*Oculus Rift*, el *Samsung Gear VR*, però per a aquest projecte s'ha optat pel model més assequible: el *Cardboard* (Figura 14). Consisteix en una estructura de cartó amb espai per a sostenir un smartphone. D'aquesta manera, mitjançant una aplicació desenvolupada amb Android SDK i Google VR SDK [9], podem disposar d'un dispositiu econòmic i a l'abast de tothom per a poder testejar el sistema.

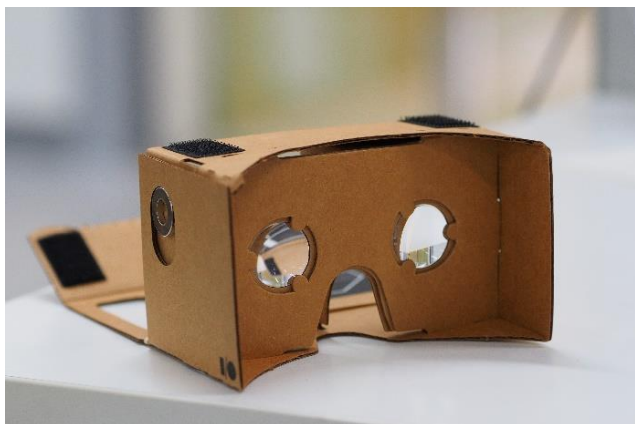


Fig. 14: Cardboard HMD.

S'han realitzat diferents proves de concepte (Figura 15) mitjançant Matlab [10] i Unity [11] per tal de verificar la viabilitat del desenvolupament d'un sistema de visualització omnidireccional mitjançant l'ús d'un visor de realitat virtual. La idea consistia a visualitzar el panorama de 360° com una esfera vista des de l'interior en la qual, a la regió on hi ha disparitat, es mostraria una malla que prendria la forma i la coordenada de profunditat en funció dels possibles obstacles que es trobessin dins d'un rang de distància donat.

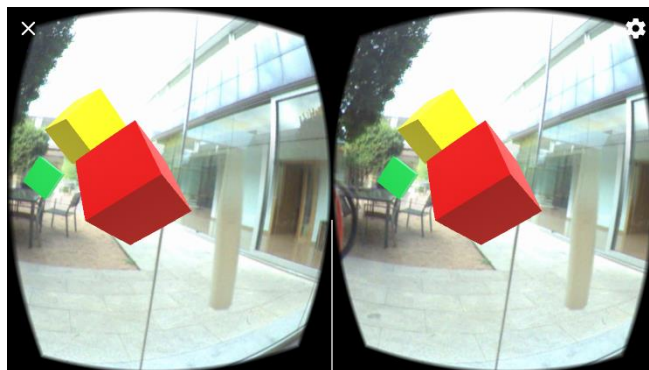


Fig. 15: Prova de concepte de l'ús de realitat virtual.

## 6 CONCLUSIONS

S'ha aconseguit obtenir visió omnidireccional a partir de les imatges obtingudes de les dues càmeres de la plataforma, així com visualitzar la disparitat d'ambdues. Tot i així, la gran distorsió introduïda pel tipus de lent determina un paper crític en l'obtenció de resultats precisos.

S'han dut a terme proves de concepte, i s'ha comprovat que es podria utilitzar un sistema de visió de realitat virtual per a visualitzar conjuntament el panorama de 360° com a una esfera envoltant, i la regió de disparitat en 3D.

Com a possible línia de continuació del projecte, seria interessant obtenir un mapa de profunditat dens, calculat en temps real que permetés automatitzar respostes del dron davant possibles col·lisions. Pel que fa a la visualització mitjançant realitat virtual, seria convenient finalitzar la generació de la malla 3D basada en el mapa dens, i posteriorment automatitzar la generació de l'escena virtual per tal de poder obtenir finalment un vídeo del vol. També seria interessant estudiar la possibilitat que la plataforma transmetés en temps real les imatges que va capturant. Això suposaria haver d'automatitzar completament el processament d'imatges i la generació de vídeo. Però d'aquesta manera s'alleugeriria el treball que ha de fer la plataforma i, com a conseqüència, l'autonomia es veuria incrementada.

## AGRAÏMENTS

Aquest projecte ha estat recolzat parcialment pel Govern d'Espanya sota el Projecte de Recerca TIN2014-56919-C3-2-R i el CERCA Programme / Generalitat de Catalunya.

El projecte s'ha dut a terme sota la supervisió de Felipe Lumbreras Ruiz, a qui m'agradaria expressar el meu més profund agraïment, ja que la seva paciència i dedicació han estat un factor clau en la realització d'aquest.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] sUAS News - The Business of Drones  
<http://www.suasnews.com/2016/08/commercial-uav-sales-will-worth-3-4-billion-end-2016/>
- [2] VR/AR Innovation Report August 2016  
<http://reg.techweb.com/GDCEU16-VRDCInnovationRpt>
- [3] The Fulldome Blog  
<https://thefulldomeblog.com/2015/11/17/collection-of-360-video-rigs/>
- [4] T. Yi-ping, L. Bei, C. Min-zhi, S. Jun - Design of Stereo Omnidirectional Vision Sensors with Full Sphere View and without Dead Angle  
<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/11879.pdf>
- [5] Fortune.com  
<http://fortune.com/2016/01/05/virtual-reality-game-industry-to-generate-billions/>
- [6] ROS.org - Wiki  
<http://wiki.ros.org/>
- [7] Mathematica StackExchange - How to remap a fisheye image  
<http://mathematica.stackexchange.com/questions/34264/how-to-remap-a-fisheye-image>
- [8] R. Szeliski - Computer Vision: Algorithms and Applications  
[http://szeliski.org/Book/drafts/Szeliski-Book\\_20100903\\_draft.pdf](http://szeliski.org/Book/drafts/Szeliski-Book_20100903_draft.pdf)
- [9] GoogleVR for Android  
<https://developers.google.com/vr/android/>
- [10] MathWorks - Documentation  
<https://es.mathworks.com/help/>
- [11] Unity - Manual  
<https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/index.html>

# APÈNDIX

## A1. DETALL DE LA PLANIFICACIÓ

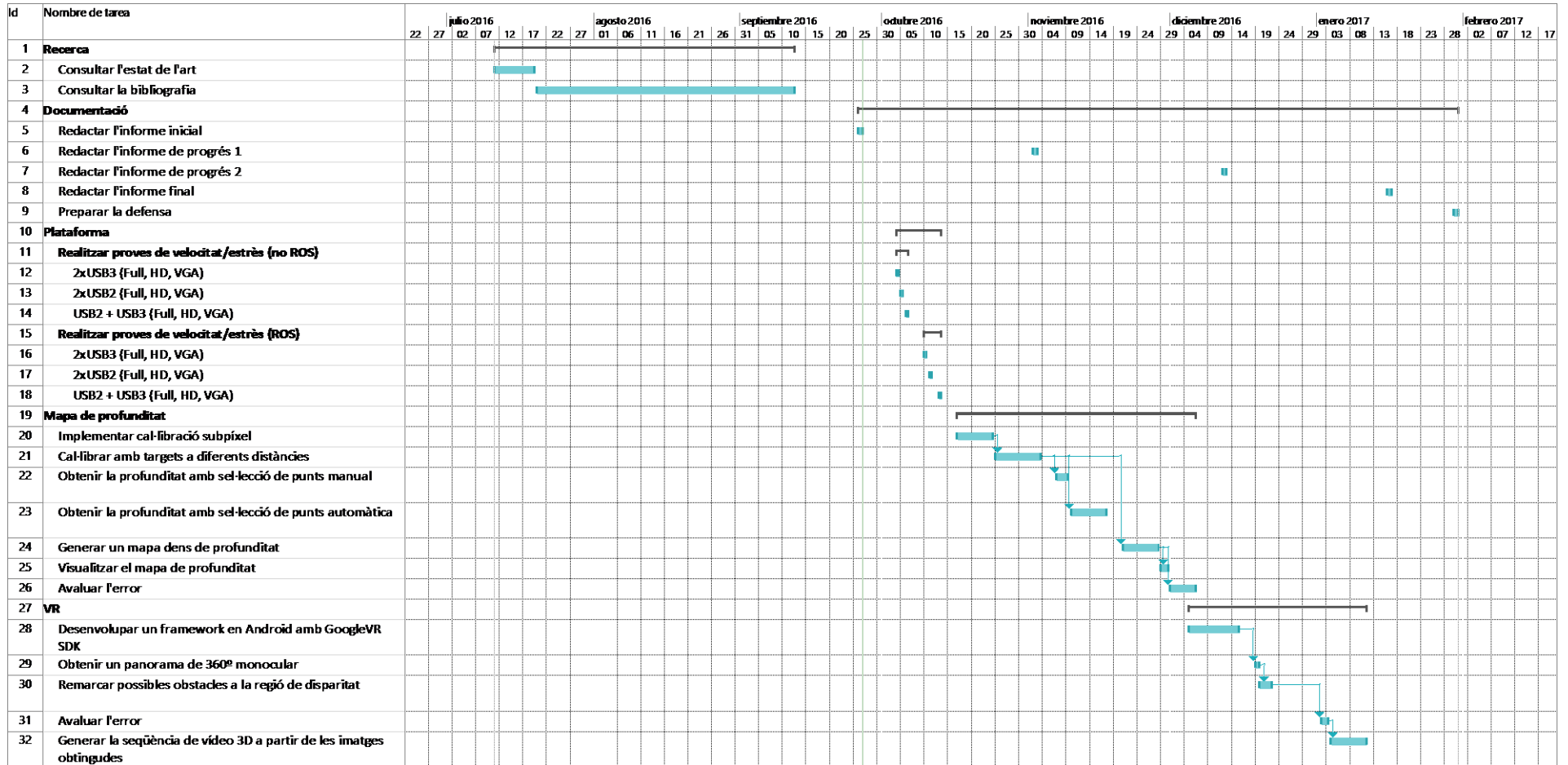


Fig. 16: Diagrama de Gantt del projecte.



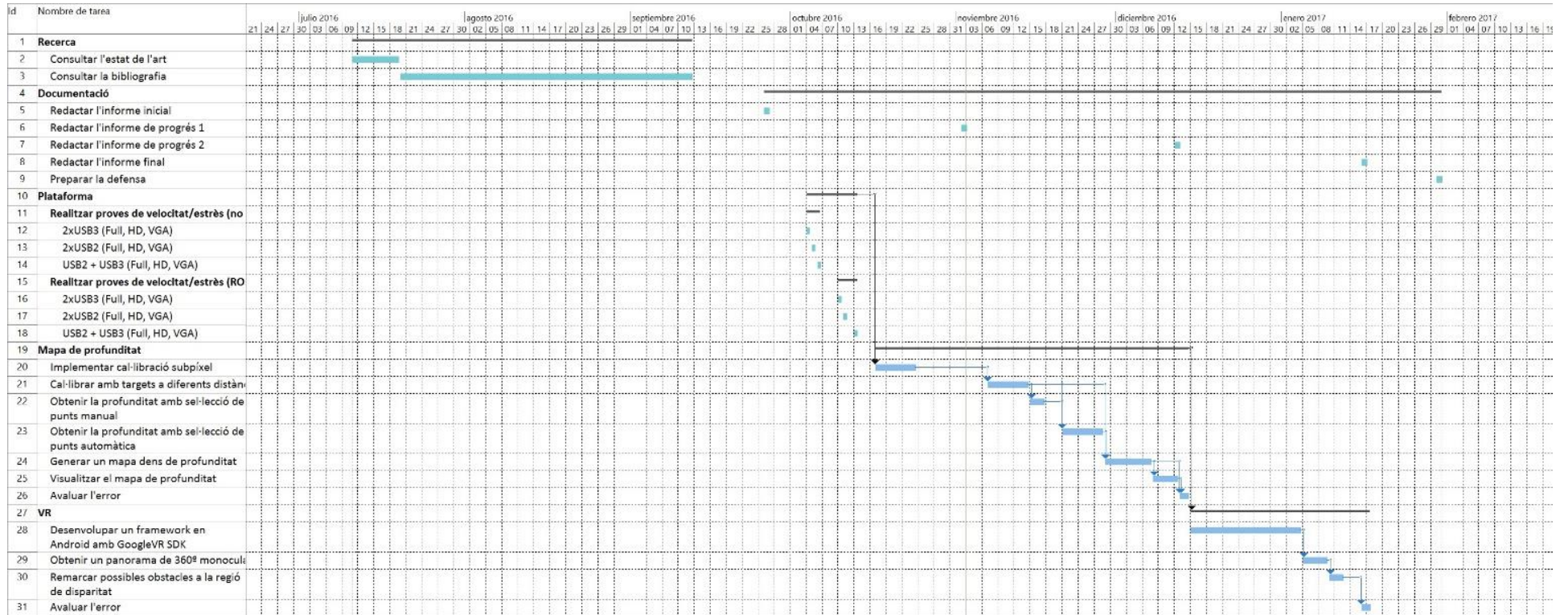


Fig. 17: Diagrama de Gantt posterior a l'informe de progrés 1.