

## 1.Introducció

La reconstrucció tridimensional és una tasca important dins del camp de la visió per computador, i és una de les línies de recerca que s'està investigant dins del Grup de Visió per Computador i Robòtica del departament d'Arquitectura i Tecnologia de Computadors de la Universitat de Girona. Una manera d'obtenir reconstruccions tridimensionals d'objectes és per mitjà d'un sistema de visió estereoscòpica. Aquesta tècnica, que intenta imitar la visió humana, es basa en utilitzar dues càmeres per capturar imatges d'una mateixa escena en un mateix instant de temps, i així obtenir la informació de profunditat (3D).

Aquest PFC està emmarcat en la línia del projecte "Sistemas de Visión por Computador para Cartografía Submarina y Acuicultura", que es du a terme per al MEC (Ministeri d'Educació y Ciència). L'objectiu d'aquest projecte és desenvolupar nous algorismes i tècniques per la construcció automàtica de mosaics tridimensionals del fons submarí.

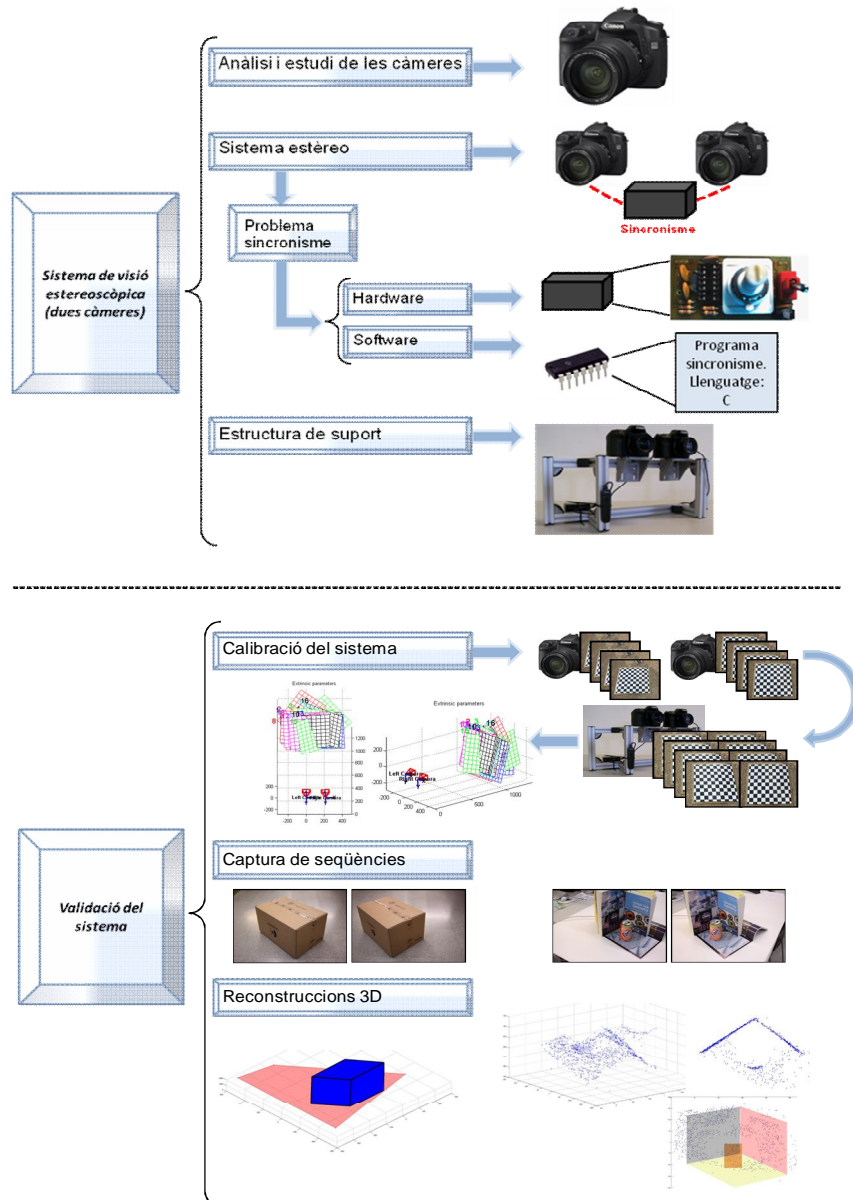
La idea bàsica d'aquest PFC consisteix en analitzar, dissenyar i desenvolupar un sistema estèreo binocular (format per dues càmeres) sobre un suport que ofereixi la mobilitat i portabilitat necessària per utilitzar-lo de forma independent, és a dir, sense necessitat de connexió a un ordinador, ja que normalment, els sistemes de visió per computador solen incorporar un ordinador amb un frame grabber (placa de captura d'imatges). Per a dur a terme el sistema estèreo més adient, s'analitzaran els requeriments necessaris, s'estudiaran diferents alternatives, i finalment, es desenvoluparà i es demostrarà el funcionament del sistema en qüestió.

Per a poder utilitzar les seqüències d'imatges per a fer reconstruccions 3D, les càmeres s'han de sincronitzar, és a dir, assegurar que es capturaran parelles d'imatges simultàniament per cada instant de temps. Per resoldre aquesta problemàtica, es desenvoluparà un sistema de sincronisme que ens permetrà, mitjançant un interruptor rotatori de deu posicions, poder realitzar les captures de forma manual mitjançant un comandament remot, o bé triar entre nou posicions per disparar a una freqüència (imatges per segon) determinada de forma automàtica. Un cop desenvolupat i muntat tot el sistema, es durà a terme el calibratge de les càmeres, i es demostrarà la utilitat del sistema per a realitzar reconstruccions 3D.

Per tant, podem dividir el projecte en dues parts ben diferenciades:

- La primera part consisteix en la construcció física del sistema estèreo (part hardware). Aquesta part es centrarà en l'anàlisi, disseny i construcció del sistema i del circuit electrònic que durà incorporat, que serà capaç de dur a terme el sincronisme entre les dues càmeres. Aquest circuit estarà controlat per un microprocessador pic16f688, que serà l'encarregat d'emetre senyals a les càmeres a la freqüència que s'hagi seleccionat, o bé de forma manual cada cop que s'accióni el comandament remot.
- La segona part (part software), consisteix en dur a terme la programació del microprocessador, i un cop muntat tot el sistema estèreo, fer el calibratge de les càmeres i realitzar reconstruccions tridimensionals a partir de les captures realitzades amb el sistema estèreo. El llenguatge de programació emprat per a programar el microprocessador és el C, i la plataforma de desenvolupament utilitzada pel calibratge i les reconstruccions 3D és el Matlab. Concretament, el calibratge es realitzarà mitjançant la *Camera Calibration Toolbox for Matlab*, creada per J. Bouguet. Per realitzar les reconstruccions 3D, aprofitarem algorismes que han sigut desenvolupats per membres del grup de recerca que investiguen en la reconstrucció 3D i d'aquesta manera podrem demostrar la utilitat del sistema.

En la Figura 1 es pot observar l'esquema general del projecte.



**Figura 1:** Esquema general del projecte.

En l'esquema s'observa una part del projecte, que és el desenvolupament del sistema de visió estereoscòpica amb els seus components principals: les càmeres, el circuit de sincronisme (on es soluciona el problema de sincronisme mitjançant hardware i software) i l'estructura de suport. I també tenim l'altra part del projecte, que es basa en la validació del sistema, i és on es du a terme la calibració del sistema i la reconstrucció 3D de diverses escenes.

## 2. Anàlisi, disseny i desenvolupament del sistema de visió estereoscòpica

Abans de començar, realitzarem un anàlisi i un disseny exhaustius dels requeriments necessaris del sistema de visió estereoscòpica que es pretén desenvolupar. Per a això, primer s'hauran d'analitzar les diferents estratègies que es poden dur a terme per satisfer els requeriments i entre aquestes seleccionarem la més viable. Llavors s'estudiaran els diferents elements que componen el sistema escollit i finalment es desenvoluparà el sistema.

Les tres estratègies que s'han analitzat per tal de satisfer els requeriments del sistema són les següents:

- PC embedded amb dues càmeres.
- Ordinador portàtil amb dues càmeres.
- Dues càmeres amb targetes de memòria.

L'estratègia que es desenvoluparà en aquest projecte és la tercera opció: un sistema de visió estereoscòpica que disposi de dues càmeres fotogràfiques amb targetes de memòria de gran capacitat i amb un circuit de sincronisme independent que permeti capturar parelles d'imatges al mateix instant de temps i a diferents freqüències. Amb les càmeres fotogràfiques tindrem l'avantatge de poder obtenir imatges de molt bona resolució. El sistema estarà subjectat en una estructura de suport d'alumini i no requereix la connexió amb un ordinador gràcies a les targetes de memòria, la qual cosa suposa que el sistema tingui una gran portabilitat per fer els experiments i que el seu preu sigui reduït.

Les càmeres que s'han escollit són les càmeres reflex digitals. Aquestes tenen un senyal de trigger extern per poder-les sincronitzar, la capacitat d'incorporar targetes de memòria amb una gran capacitat i disposen de diverses funcions de control manual per poder ajustar la càmera segons el medi on ens trobem. A més es van adquirir dues òptiques de les més bones, dues targetes de memòria de la màxima capacitat possible i dos polsadors externs per realitzar les captures a distància.

El circuit de sincronisme és la part més important del sistema de visió estereoscòpica, i com ja s'ha esmentat, ens ha de permetre poder realitzar les captures de forma manual o bé forma automàtica. Per a dur a terme aquesta tasca, s'ha hagut de realitzar un disseny exhaustiu del circuit, a continuació s'ha desenvolupat el circuit imprès i el soldatge dels components corresponents a aquest disseny, i finalment, s'ha realitzat la programació en C del microprocessador pic16f688 que du incorporat el circuit per tal de dur a terme les diferents opcions i enviar un senyal totalment sincronitzat a les dues càmeres.

L'estructura de suport, és la base on s'assentaran les dues càmeres i el circuit de sincronisme i ha de ser una estructura ferma capaç de subjectar el circuit de sincronisme i les dues càmeres. A més, ha de ser manejable per complir els requisits de ser mòbil i portable i així poder realitzar proves dins del laboratori amb facilitat. I finalment ha de permetre graduar la distància i l'angle entre les dues càmeres de manera que, segons l'escena d'interès, es puguin variar aquests dos paràmetres. Per aquests motius, es va decidir emprar un sistema modular de perfils d'alumini, que són molt utilitzats en el grup de Visió per Computador i Robòtica.

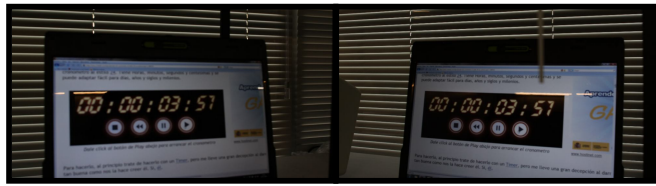
### 3.Resultats

En aquest apartat s'ha avaluat el sistema de sincronisme, s'ha dut a terme la calibració de les càmeres i s'han realitzat algunes reconstruccions tridimensionals amb el sistema estereoscòpic finalitzat per poder demostrar la utilitat del sistema.

En l'avaluació el sistema de sincronisme, vam realitzar captures amb el sistema estereo a un cronòmetre digital capaç d'escurar fins a les centèsimes de segon per comprovar si les dues càmeres capturaven al mateix instant de temps i si les freqüències de captura establertes es complien satisfactòriament (veure Figura 2). Les captures es varen dur a terme per a gairebé totes les qualitats d'imatge que disposen les càmeres i per a les freqüències més importants del circuit de sincronisme.

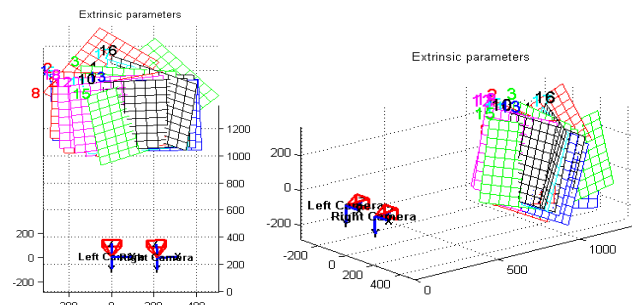
Realitzant aquestes proves s'han obtingut alguns errors de desfasament entre imatges realitzades amb la càmera esquerra i dreta per als mateixos instants de temps. Llavors, es va comprovar si aquest petit error de desfasament s'acumulava de manera que al finalitzar la seqüència de captures una càmera pogués acabar abans que l'altra, però no vam obtenir cap error. Això ens indica que el senyal que envia el circuit de sincronisme a les càmeres és

totalment constant i no es desfasa i que l'error de desfasament que obtenim es provoca en les càmeres. Finalment, dividint les imatges capturades entre el temps de captura, vam extreure que les freqüències de captura que varen establir es compleixen correctament.



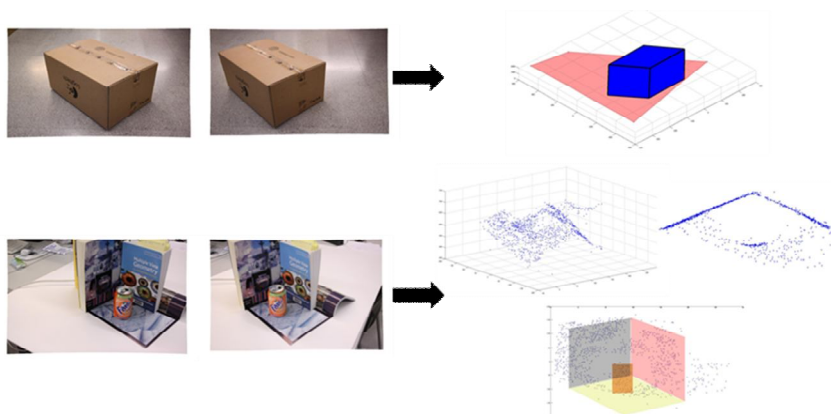
**Figura 2:** Imatges realitzades al cronòmetre amb el sistema estèreo.

Per calibrar el sistema estèreo, vam haver de realitzar les captures a un patró de calibració (que és com un taulell d'escacs) amb cadascuna de les càmeres per separat per obtenir els paràmetres intrínsecs (interiors a la càmera), i seguidament es van realitzar captures al mateix patró amb el sistema estèreo per a determinar els paràmetres extrínsecs, que ens determinen la distribució de les dues càmeres. La calibració es va realitzar amb la *Camera Calibration Toolbox for Matlab* i els resultats es poden observar en la Figura 3.



**Figura 3:** Resultats obtinguts amb la calibració del sistema estereoscòpic.

Amb el parell estereoscòpic calibrat, vam procedir a realitzar les captures per fer les reconstruccions 3D. Les captures es van realitzar a una caixa, que té una forma tridimensional bàsica, i a dos llibres, simulant tres plans amb el terra, i una llauna amb forma cilíndrica ubicada entre aquests tres plans. Per a dur a terme les reconstruccions 3D i demostrar la utilitat del sistema, vam emprar algorismes desenvolupats per diversos membres del grup de recerca que investiguen en la reconstrucció 3D.



**Figura 4:** Reconstrucció 3D de les imatges capturades.

Com hem pogut observar amb els dos exemples proposats en la Figura 4, podem afirmar que la validació del sistema s'ha complert satisfactòriament. En el primer exemple, el de la caixa, vam comprovar que els punts 3D obtinguts eren totalment correctes i es corresponien amb els reals. En el segon exemple, el dels dos llibres i la llauna, mitjançant les imatges

realitzades es varen trobar molts punts característics i per tant es va poder trobar un bon núvol de punts que definia perfectament els objectes visibles en la imatge.

## 4. Conclusions

En aquest projecte hem analitzat, dissenyat i desenvolupat un sistema de visió estereoscòpica format per dues càmeres capaç de realitzar parelles d'imatges simultàniament per a cada instant de temps per dur a terme reconstruccions tridimensionals d'objectes. Hem realitzat una aplicació pràctica que es diferencia en dos disciplines: per una banda tenim una implementació hardware que es centra en l'anàlisi, disseny i construcció del sistema i del circuit de sincronisme entre les dues càmeres, i una part software, que consisteix en la programació del microprocessador per enviar senyals a les càmeres a diferents freqüències, en la calibració de les càmeres i en la realització de reconstruccions tridimensionals a partir de captures realitzades amb el sistema estereoscòpic desenvolupat.

Pel que fa a l'anàlisi, hem realitzat un estudi amb profunditat de les diferents estratègies possibles, estudiant els avantatges i inconvenients que comportava cadascuna d'elles, i s'ha triat la que millor satisfecia els requeriments que teníem establerts. L'estratègia escollida és l'única que comportava el desenvolupament d'un mecanisme de sincronització, i ha desembocat en un estudi estricte de les càmeres fotogràfiques digitals, del circuit de sincronisme i de l'estructura de suport. Cal destacar que aquest és el primer prototipus amb càmeres fotogràfiques i sense connexió a PC que es desenvolupa en el grup de Visió per Computador i hem pogut demostrar la seva viabilitat.

En la part de desenvolupament del sistema, hem tingut la oportunitat de poder aprendre a desenvolupar un circuit imprès i de realitzar el soldatge dels components sobre aquest circuit imprès. Aquesta és una tasca que es dona molt més en la carrera d'enginyeria electrònica, però que també és important tenir uns coneixements mínims en la carrera d'enginyeria tècnica en informàtica de sistemes. Per tant, és important destacar que s'han après molts conceptes nous d'aquest àmbit durant desenvolupament del circuit. També hem dut a terme l'assemblatge del sistema estereoscòpic i la programació del microprocessador per tal de sincronitzar la captura de les dues càmeres per a diferents freqüències.

Mitjançant la fase de proves, vam realitzar captures amb el mode de ràfega màxima de les càmeres per a totes les qualitats d'imatge possible i hem pogut determinar de manera aproximada que la freqüència de captura màxima que ens han permès les càmeres és de 3,5 fps. Hem après també a utilitzar l'eina *Camera Calibration Toolbox for Matlab* per calibrar el sistema estèreo i a relacionar-ho amb les bases teòriques de l'estereovisió, i a estudiar de manera general, tal i com ens vam proposar, els algorismes implementats en *Matlab* que ens permeten dur a terme les reconstruccions 3D.

Tant a nivell acadèmic com personal, ha sigut un èxit poder assolir tots els objectius inicials i poder aprendre tantes coses dins d'un camp tant interessant com és el de la Visió per Computador.

Com a treballs futurs es podrien considerar els següents punts:

- Encapsular aquest prototip desenvolupat per poder testear-lo sota l'aigua.
- Acoblar el prototip a un robot autònom per realitzar captures del fons submarí i realitzar un sistema d'il·luminació potent per incorporar-lo al sistema estereoscòpic ja que quan s'està a molta profunditat, no hi ha gairebé il·luminació.
- Afegir una tercera càmera i fer una modificació del circuit de sincronisme i de l'estructura de suport per desenvolupar un sistema trinocular.
- Afegir un transmissor de fitxers a les càmeres que permeti transferir imatges via wireless a un ordinador o directament a un lloc web o a un servidor ftp.