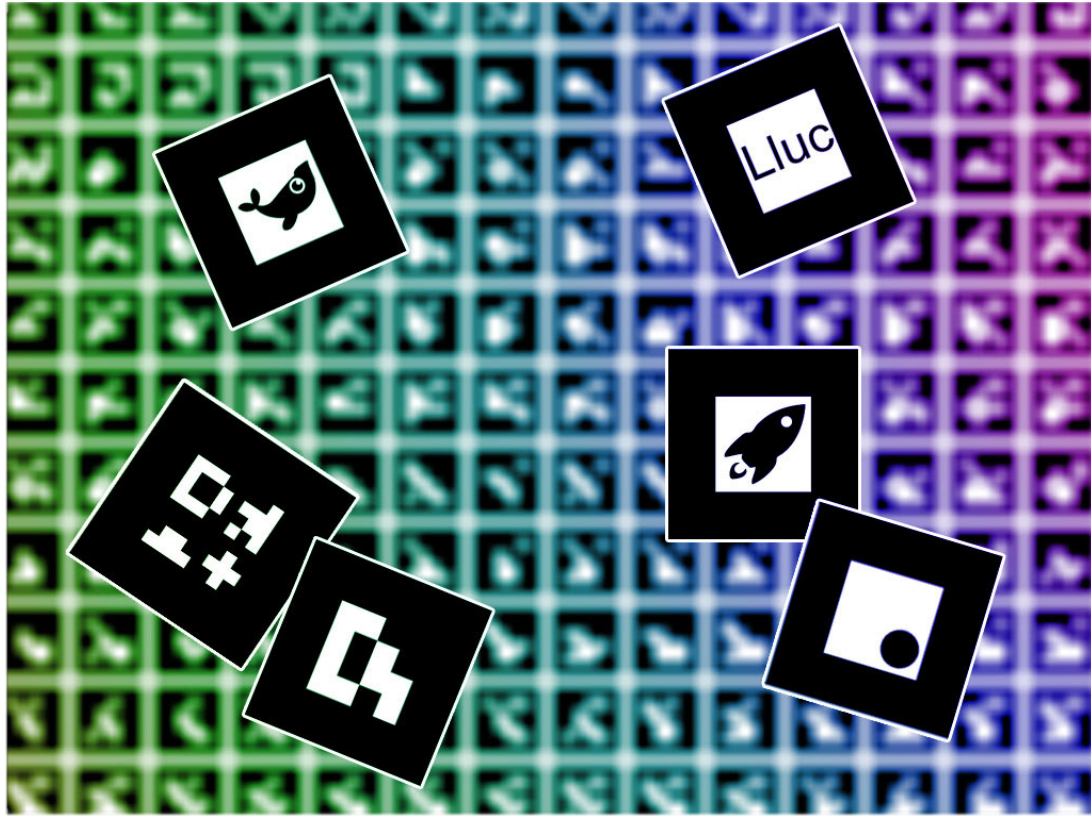


La realitat augmentada



Lluc Bové Canals

Tutor: Eudald Díaz Duran • Escola Escorial de Vic • 2n de batxillerat • 20 de desembre de 2012

Índex

1 Presentació	6
2 Introducció	8
2.1 Primera definició	8
2.2 Cronologia	8
2.3 Definició i diferències amb la realitat virtual	10
2.4 Aplicacions quotidianes de realitat augmentada	12
2.4.1 Educació	12
2.4.2 Cirurgia i usos mèdics	13
2.4.3 Entreteniment	13
2.4.4 Simulacions	13
2.4.5 Arquitectura	14
2.4.6 Tasques complexes	14
2.4.7 Navegació	14
2.4.8 Publicitat i comerç	14
2.4.9 Traducció instantània	15
3 Explicació de les fases de realitat augmentada	16
3.1 Captura	16
3.2 Identificació	16
3.2.1 Reconeixement per marcadors (Marker tracking)	16

3.2.2. <i>Reconeixement sense marcadors (Markless Traking)</i>	19
3.3 Processat	20
3.3.1 <i>Tipus d'informació virtual i fonaments dimensionals</i>	20
3.3.2 <i>Open GL</i>	21
3.4 Visualització	21
3.4.1 <i>Sistemes de visualització de baix cost</i>	22
3.4.2 <i>Sistemes de visualització d'alt cost</i>	23
4 Anàlisi de les fases de realitat augmentada	25
4.2 Captura	25
4.2.1 <i>Metodologia</i>	25
4.2.2 <i>Les càmeres de vídeo</i>	25
4.3 Identificació	28
4.3.1 <i>Metodologia</i>	28
4.3.2 <i>Identificació amb marcadors</i>	28
4.3.3 <i>Identificació sense marcadors</i>	36
4.4 Processat	40
4.4.1 <i>Metodologia</i>	40
4.4.2 <i>La unitat de processament gràfic</i>	40
4.4.3 <i>La projecció gràfica</i>	41
4.5 Visualització	42
4.5.1 <i>Metodologia</i>	42

4.5.2 Els sistemes de visualització	43
5. Anàlisi d'aplicacions de realitat augmentada	45
5.1 Anàlisi general de les aplicacions	45
5.1.1. Resultats	46
5.2 Anàlisi de l'aplicació Augment	47
5.3 Anàlisi de l'aplicació Eye pet	47
6 Desenvolupament d'una aplicació de realitat augmentada creada amb FLARToolKit	48
6.1 Metodologia	48
6.2. Conceptes previs	49
6.2.1 Programa informàtic	49
6.2.2 Llenguatges de programació	50
6.2.3 Les biblioteques de programació	51
6.2.4 Flash i Action Script	52
6.3 Descripció de l'aplicació	52
6.4 Disseny	53
6.4.1 Disseny dels marcadors	53
6.4.2 Disseny dels models tridimensionals	55
6.5 Interfície de l'aplicació	57
6.5.1 Mapa HTML	57

<i>6.5.2 Fons de pantalla</i>	58
6.6 Programació	58
<i>6.6.1 Anàlisi del codi de multi marcador</i>	58
<i>6.6.2 Anàlisi del codi d'un sol marcador</i>	60
7 Conclusions	62
8 Bibliografia	67
<i>8.1 Webgrafia</i>	67
9 Índex d'annexos	72

1 Presentació

Aquest treball parla sobre la realitat augmentada. He triat aquest tema perquè m'apassionen les noves tecnologies des de sempre i he tingut un interès en elles des de ben petit. En especial l'informàtica sempre m'ha atret. Durant la meua vida havia tractat amb diferents temes de l'informàtica, ja fos per afició o per feina. Quan he hagut de triar un tema per aquesta recerca la realitat augmentada m'ha semblat una gran idea. La realitat augmentada inclou molts aspectes de l'informàtica com el modelatge de figures tridimensionals o la programació. m'ha suposat un repte que en part m'ha servit de motivació ja que és un tema complex. El fet de ser un tema que mai he vist ni tractat també m'ha donat la curiositat per endinsar-me en un aquest món nou. Així doncs vaig iniciar la recerca d'aquest tema.

Els objectius definits per la recerca són clars. El primer objectiu és conèixer la realitat augmentada i tot allò que l'envolta és a dir, les disciplines que es necessiten per a dur a terme un projecte amb aquesta tecnologia, quin tipus de professionals hi treballen, quines són les dades amb què treballen, com funciona aquesta tecnologia internament; és a dir, conèixer aquesta tecnologia i la tecnologia que l'envolta. El segon objectiu és el d'analitzar experimentalment alguns paràmetres de la realitat augmentada. Buscar quins paràmetres fan que la realitat augmentada funcioni o que falli i experimentar per a poder-los entendre millor sense haver de dominar amb profunditat els seus aspectes. Un altre objectiu és el de analitzar aplicacions de realitat augmentada que ja existeixin per a tal de veure com funcionen i poder entendre la realitat augmentada millor.

Finalment l'últim objectiu és el de poder crear una aplicació de realitat augmentada amb tot allò après i poder-la usar per a experimentar. L'aplicació ha de ser l'utilitat pràctica de tots els continguts apresos.

El treball s'estructura en dues parts, una part més teòrica i bibliogràfica i una part més pràctica. La part teòrica consisteix en la busca d'informació bibliogràfica però sobretot a per Internet. És una part on es busquen tot d'elements per a entendre com funciona la realitat augmentada. En aquesta part m'he centrat en l'explicació de totes les fases que té una aplicació de realitat augmentada i a partir d'aquí he aprofundit en cada una d'elles i les seves disciplines. La part pràctica inclou una petita experiència amb els marcadors de realitat augmentada i la seva identificació. També inclou una part on es fa l'anàlisi de diferents aplicacions de realitat augmentada a partir de fitxes tècniques i per últim una part on s'explica el procés de creació i els aspectes d'una aplicació de realitat augmentada en línia, que inclou la programació de l'aplicació,

el seu disseny i tots els elements relacionats. Les fonts utilitzades són bàsicament de tipus bibliogràfic, més concretament la majoria són fonts d'Internet. Molta informació també ha estat proporcionada per una persona d'autoritat en el tema de la programació i de les tecnologies.

Durant el treball he tingut alguna dificultat. Sobretot ha sigut una dificultat bibliogràfica ja que d'aquest tema no se'n troba gaire informació de caràcter tècnic. Si que hi ha informació de caràcter pràctic i d'exemples reals però costa trobar informació útil. També s'ha de dir que la realitat augmentada és un tema tècnicament difícil que els seus aspectes solen ser tractats per professionals amb coneixements d'informàtica, programació, matemàtiques...

Finalment vull donar les gràcies a totes les persones que han fet possible que hagi pogut finalitzar la meva recerca. Al meu tutor de recerca Eudald Díaz Duran per a ser el meu guia en aquest treball, per a la seva gran ajuda i interès en aquest treball. A l'Albert Baucells per ajudar-me en els aspectes tècnics del treball i per guiar-me en el complicat món de les noves tecnologies que ara puc comprendre millor. També a en Pep Campàs per l'ajuda i l'interès en aquest treball. Per últim vull agrair a la meva família la seva paciència, sobretot al meu germà l'Eloi per la seva paciència.

2 Introducció

2.1 Primera definició

La realitat augmentada és la visió directa o indirecta de la realitat física però amb elements virtuals generats per ordinador que es barregen per crear una realitat mixta a temps real. És a dir, s'afegeix informació virtual a la informació física que ja existeix. El seu objectiu és poder millorar la percepció del món a l'usuari. La fita més important és crear un sistema on l'usuari no pugui distingir el món real de l'informació augmentada.

Per a comprendre què és la realitat augmentada amb facilitat cal abans definir el terme de realitat virtual ja que els sistemes de realitat augmentada són els hereus de la realitat virtual.

La realitat virtual és aquella tecnologia que interactua amb l'usuari simulant un entorn fictici que ha de semblar real a l'usuari. Per transmetre una sensació de realitat el sistema ha d'estimular els cinc sentits.

2.2 Cronologia

La realitat augmentada té una història des dels primers simuladors de realitat virtual fins als dispositius de realitat augmentada actuals. En aquesta cronologia es recullen els aspectes més rellevants de l'història de la realitat augmentada.

Sensorama

1962 Morton Heilig crea el primer simulador de moto anomenat Sensorama que inclou imatges, so, vibració i olfacte.

HMD

1973 Ivan Sutherland fabrica el primer HMD (Head mounted display) que és un visualitzador que funciona com un casc i que permet visualitzar imatges molt a prop dels ulls.

Videoplace

1985 Myron Krueger crea Videoplace, el primer programa on es podia interactuar amb imatges virtuals.

Realitat Virtual

1990 Jaron Lanier defineix per primera vegada el terme realitat virtual i crea l'empresa VPL Research, per tant també és el primer de comercialitzar amb la realitat augmentada

Realitat Augmentada

1992 Tom Caudell crea el terme realitat augmentada.

KARMA

1994 Steven Feiner, Blair MacIntyre i Doree Seligmann creen KARMA, el primer sistema important en utilitzar la realitat augmentada.

ARToolkit

1999 Hirokazu Kato crea ARToolkit, la primera biblioteca de realitat augmentada

ARQuake

2000 Bruce H. Thomas crea ARQuake, el primer joc que utilitza la realitat augmentada per a dispositius mòbils.

AR Wikitude

2008 Es crea el primer navegador que utilitza realitat augmentada per Android. AR Wikitude

Logo AR

2009 es crea el logotip de la realitat augmentada per a poder identificar els productes que utilitzin aquesta tecnologia.

FLARToolkit

2009 ARToolkit és portat a adobe flash per Saqoosha i per tant arriba la realitat augmentada al navegador web

Project Glass

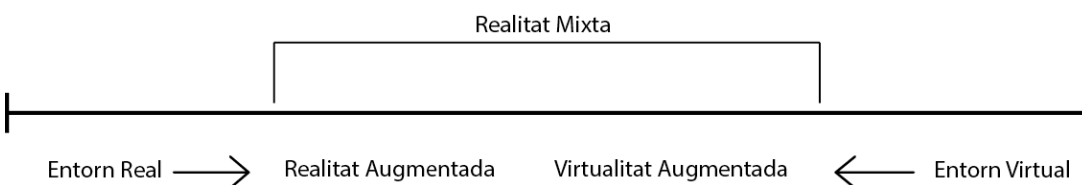
2012 Google crea el disseny de unes ulleres que utilitzen la realitat augmentada i bateja el projecte com a Project Glass.

2.3 Definició i diferències amb la realitat virtual

Actualment hi ha més d'una definició comunament acceptada per la realitat augmentada. Una d'elles va ser donada per Ronald Azuma¹ el 1997 i és la següent:

“La realitat augmentada ha de combinar elements reals i virtuals, és interactiva i a temps real i està registrada en tres dimensions.”

L'altra definició la distingeix de la realitat virtual. Aquesta definició proposada per Paul Milgram i Fumio Kishino al 1994 diu que la realitat augmentada és el punt mig entre un entorn real i l'entorn virtual. Tot i així Milgram i Kishino defineixen aquest punt com a realitat mixta i la divideixen en la realitat augmentada, molt més propera a un entorn real, i la virtualitat augmentada, molt més propera a un entorn virtual.



Imatge 2.1 Esquema per entendre la realitat augmentada



Imatge 2.2 Realitat Virtual. una dona utilitzant la tecnologia de la realitat virtual en el que ell duu un HMD² i pot veure un entorn virtual que és el que es veu a la pantalla. font: <http://static.ddmcdn.com/gif/virtual-reality-8.jpg>

¹ Dissenyador i programador considerat com a innovador i pioner en l'àmbit de la realitat augmentada

² Visualitzador muntat al cap de l'anglès "Head Mounted Display". Consisteix en un casc on les imatges són visualitzades molt a prop dels ulls.



Imatge 2.3 Realitat Augmentada. un home que utilitza la tecnologia de la realitat augmentada. l'home està jugant a un joc on els enemics són virtuals però l'escena és real. És, però, un fotomuntatge. font: <http://www.roadtovr.com/files/2011/12/augmented-reality-gaming.jpg?w=600>

Així doncs, la principal diferència entre la realitat augmentada i la realitat virtual és que la realitat augmentada afegeix elements virtuals a la realitat mentre que la realitat virtual substitueix l'entorn físic per un entorn totalment virtual.

Per entendre millor el concepte de realitat augmentada cal fer ús d'exemples. Un turista es troba a Barcelona i veu la Sagrada Família. El turista no en sap res de l'emblemàtic monument i a ell li agradaria que al mirar la Sagrada Família pogués veure un cartell que li indiqués que aquell monument que veu és la sagrada família i que va ser construïda per l'arquitecte Antoni Gaudí, així com molta altra informació que li podria ser molt útil.

Evidentment que això no és possible sense uns cartells però en el cas que es fiquessin no seria gaire agradable per a molta gent veure el monument carregat d'informació.

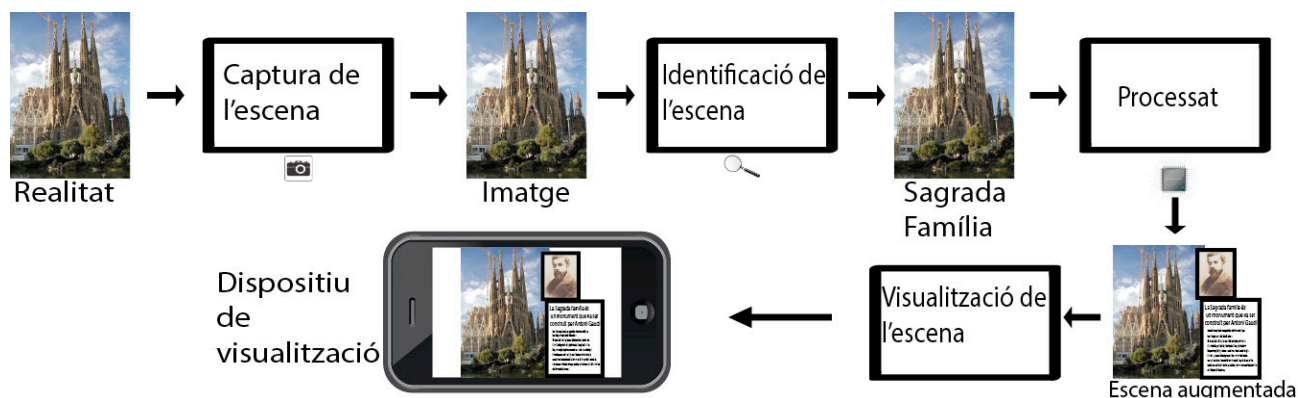
La solució al problema la pot proporcionar la realitat augmentada.

Actualment qualsevol persona amb el seu telèfon mòbil avançat pot capturar amb la seva càmera l'escena i poder visualitzar el monument amb tota la informació augmentada a la pantalla del mòbil.

Amb aquest esquema es pot veure que tot sistema de realitat augmentada necessita dispositius que identifiquin l'escenari real i el classifiquin així com que visualitzin tant l'entorn real com l'informació digital.

Per l'altra banda també es pot veure que tot sistema de realitat augmentada consta de, com a mínim, quatre tasques fonamentals per a poder realitzar l'augment. Les tasques són:

- I. Captura de l'escena
- II. Identificació de l'escena
- III. Processat o mescla de la realitat amb l'augment
- IV. Visualització



Imatge 2.4 Esquema on es mostren les tasques de la realitat augmentada

2.4 Aplicacions quotidianes de realitat augmentada

Per entendre encara més bé què és la realitat augmentada cal veure exemples que existeixin actualment. La realitat augmentada té un munt d'aplicacions i usos quotidians. Mitjançant els materials multimèdia de l'annex 1, en aquesta secció s'explicaran quines són i alguns exemples reals.

2.4.1 Educació

La realitat augmentada en l'educació té una utilitat molt gran. Molts conceptes no s'entenen sense algun suport visual. Aquest suport visual pot ser la realitat augmentada. A l'annex, a la secció *Realitat augmentada en l'educació* hi ha uns vídeos que mostren aplicacions reals. El primer vídeo mostra un llibre de text que enlloc d'estar acompanyat d'il·lustracions està acompanyat de models tridimensionals amb realitat augmentada. El segon mostra una aplicació de química on es poden observar models tridimensionals de diferents compostos químics. El tercer vídeo mostra una representació de les parts del cos però en el mateix cos de l'usuari. L'últim vídeo mostra una aplicació per poder ensenyar com són diferents peces tridimensionals per al dibuix tècnic.

2.4.2 Cirurgia i usos mèdics

La realitat augmentada permet superposar dades visuals com per exemple termografies o la delimitació de bores netes d'un tumor, que són invisibles a primera vista i que reduirien l'impacte d'una operació. També podria ser útil per a l'ensenyança d'aquest ofici.

A l'annex, a la secció *Realitat augmentada en la cirurgia i per a recursos mèdics*, es poden veure tres vídeos que mostren aquests aspectes.

2.4.3 Entreteniment

Actualment la realitat augmentada és molt utilitzada en els videojocs i està en ple desenvolupament. Hi ha molts projectes d'investigació ja que la realitat augmentada és una manera innovadora i diferent de jugar. Es fa molt atractiva de manera visual per a l'usuari i resulta una experiència diferent.

A l'annex, a la secció *Realitat augmentada en els jocs*, es mostren uns vídeos de jocs i aplicacions d'entreteniment que utilitzen aquesta tecnologia. Cal destacar el primer vídeo que mostra un joc molt interessant i interactiu on un jugador controla un personatge virtual que és dins d'un model exacte de una ciutat real però la ciutat és virtual i els altres jugadors han de perseguir i trobar aquest personatge virtual en la ciutat amb uns ordinadors de mà amb GPS i radio comunicadors. El segon vídeo mostra un joc on els enemics són en un entorn real. El tercer vídeo mostra un joc on amb una consola portàtil pots trobar uns éssers animats per l'entorn real i fer combats entre ells. El quart mostra una aplicació on una ciutat virtual s'augmenta a l'entorn real. El cinquè vídeo mostra una aplicació que projecta informació visual sobre una taula de billar que facilita l'aprenentatge de l'esport. El tros del vídeo rellevant comença al cap de dos minuts.

Els dos últims vídeos mostren un recull de jocs per a una consola portàtil que creen molta interacció amb l'entorn real.

2.4.4 Simulacions

Es pot utilitzar la realitat augmentada per simular vols o trajectes terrestres amb finalitats d'entreteniment o professionals tot i que és més típic utilitzar la realitat virtual per a aquestes simulacions. També es poden fer simulacions d'altres aspectes més quotidians.

Al bloc, a la secció *Realitat augmentada en les simulacions*, es mostren alguns exemples reals. El primer vídeo mostrar una simulació de vol. El segon mostra una simulació d'onades. L'últim potser és el més interessant ja que mostra una simulació d'una caixa de

sorra però el mètode de visualització és amb projeccions. La tecnologia és molt més elevada en aquest exemple.

2.4.5 Arquitectura

La realitat augmentada és molt útil en l'arquitectura ja que es pot veure com serà un edifici determinat en un terreny determinat sense haver-lo construït. També pot restaurar de manera virtual un edifici destruït.

Al bloc, a la secció *Realitat augmentada en l'arquitectura*, es poden veure exemples reals. Tots ells consisteixen en augmentar un edifici en un entorn real. S'ha de dir que aquests vídeo no són realitzats per un professional o només són proves i per tant l'objectiu de veure com serà l'edifici en el seu terreny no es veu complert en aquests exemples.

2.4.6 Tasques complexes

Per a tasques complexes, com ara el manteniment o muntatge d'un cotxe, la realitat augmentada pot esdevenir una bona guia.

Al bloc, a la secció *realitat augmentada com a ajuda en tasques complexes*, es pot veure un exemple real. L'exemple consisteix en una aplicació que serveix de guia per a la reparació d'un cotxe.

2.4.7 Navegació

La realitat augmentada pot millorar l'eficàcia dels dispositius de navegació. Pot aclarir la ruta superposant imatges, pot afegir punts d'interès com restaurants o gasolineres i moltes altres característiques amb l'objectiu de millorar l'experiència de l'usuari. Molts vehicles ja porten incorporat un sistema de realitat augmentada de sèrie i el vidre del cotxe fa de visualitzador.

Al bloc, a la secció *Realitat augmentada en la navegació*, es poden veure alguns exemples reals. El primer vídeo mostra una superposició que indica el camí virtualment sobre la carretera real. El segon mostra la distància en que es troba el cotxe de davant i t'adverteix quan estas massa a prop. L'últim vídeo mostra una aplicació que superposa dades útils per a l'usuari sobre al carrer com restaurants, llocs, informació de xarxes socials, ...

2.4.8 Publicitat i comerç

Una de les grans aplicacions de la realitat augmentada és la publicitat. La realitat augmentada és molt atractiva per a la vista i crida l'atenció de la gent per tant és idònia per a la publicitat. Des de cartells que cobren vida fins a esdeveniments en directe la realitat

augmentada pot donar gran dinamisme a la publicitat. En el comerç es poden aplicar solucions de realitat augmentada com provadors virtuals o dispositius que ensenyen l'aparença de productes que estan empaquetats.

Al bloc, a la secció *Realitat augmentada en la publicitat i el comerç*, hi ha alguns exemples reals. El primer vídeo és un esdeveniment on en un centre comercial fan aparèixer alguns personatges virtuals. El segon vídeo mostra com una aplicació de realitat augmentada pot fer cobrar vida a cartells publicitaris del carrer. El tercer mostra com cobra vida un anunci d'una revista. El quart vídeo mostra com veure un producte sense haver-lo de desempaquetar. El cinquè vídeo mostra un provador de roba que funciona de manera virtual. I per últim l'enllaç final mostra un provador d'ulleres que es pot fer servir des de la càmera web de l'ordinador de qualsevol usuari i gratuïtament.

2.4.9 Traducció instantània

La realitat augmentada es pot combinar amb la tecnologia de reconeixement de text i realitzar traduccions instantànies de rètols o de qualsevol text que poden ser molt útils per viatjar a països estrangers.

Al bloc, a la secció *Realitat augmentada i traducció instantània* es pot veure un exemple real. Es tracta d'una aplicació per a mòbils que és capaç de traduir qualsevol rètol a temps real i que fins i tot manté la mateixa lletra i amb la mateixa mida i color. Té però el problema que la traducció no és molt precisa ni és gaire correcte però és possible que en un futur es pugui crear una aplicació molt més funcional.

3 Explicació de les fases de realitat augmentada

Tots els sistemes de realitat augmentada consten del següent procés:

3.1 Captura

Una de les tasques més importants és tenir imatges de l'escena perquè després pugui ser identificada, processada i visualitzada. Per a capturar imatges s'utilitza una càmera. Les càmeres poden estar incorporades en diferents dispositius per tal de complir millor el seu objectiu i també poden ser de molts tipus diferents.



Imatge 3.1 Càmera per capturar vídeo font: <http://videoproductiontips.com/VPT-Images/video%20camera%20pro%204.jpg>

3.2 Identificació

Consisteix en esbrinar quin és l'escenari físic real que l'usuari vol augmentar amb informació digital.

3.2.1 Reconeixement per marcadors (*Marker tracking*)

Un marcador és un objecte que la seva imatge és coneguda pel sistema. Les maneres en què el sistema pot conèixer el marcadors es poden agrupar en: la geometria, el color o ambdues característiques. S'ha de tenir en compte que aquests processos comporten un gran cost computacional¹ i una gran capacitat de càlcul o sigui que afecten al rendiment del sistema.

¹ El cost computacional és la mesura de la quantitat de recursos que ha hagut de utilitzar una computadora per realitzar una acció determinada.

Habitualment per el reconeixement del marcador primer es fa un escaneig a l'escena per a localitzar el marcador. Un cop localitzat el marcador s'estableix un rang de moviment del marcador per el següent fotograma així el rang de busca del marcador és d'un espai inferior en aquest fotograma i això redueix el temps de processament. Com menys càlculs per localitzar el marcador més alt és el rendiment. Posteriorment, un cop detectat el patró, es procedeix a realitzar les tasques de mesclar i augmentar.

És important destacar que aquest procés es repeteix mentre l'aplicació romangui en execució o oberta. El procés anterior només pot modificar el seu comportament si en algun fotograma en la regió de busca no troba el marcador. En aquests casos el programa pot actuar de diferents maneres:

- Realitzar un nou escaneig de tota la imatge per buscar el marcador. Això és efectiu si el marcador s'ha mogut en una posició allunyada.
- Buscar en les regions veïnes del marcador en el fotograma anterior. Això és útil quan el marcador s'ha mogut en una posició propera a la inicial.
- Utilitzar la predicció de moviment. Això es pot fer o bé analitzant les imatges o bé amb l'ús d'uns dispositius anomenats acceleròmetres que mesuren els moviments que es duen a terme en més d'un pla.

En tots els casos quan s'ha detectat el marcador es reprèn el procés anterior que es repeteix.

Cal dir que el nombre de marcadors que pot detectar un programa no és il·limitat sinó que depèn de l'algoritme¹ utilitzat.

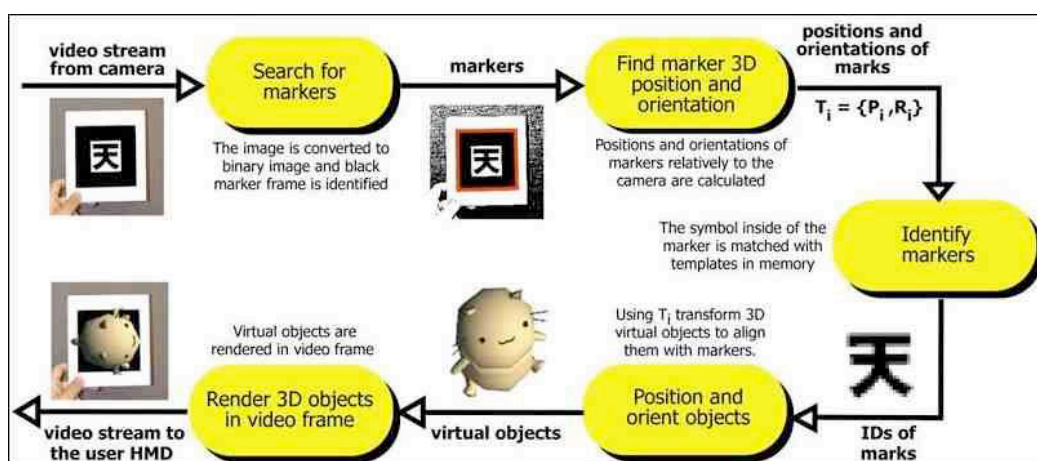
També cal esmentar que el sistemes de realitat augmentada estan programats per tenir histèresi. L'histèresi és la tendència que té un material a conservar una de les seves propietats en absència d'un estímul que l'ha generat. Un programa de realitat augmentada un cop ha localitzat el marcador genera la imatge virtual. Si en algun moment el marcador no es pot identificar, degut a les condicions de llum o a la seva posició, però si que es pot "intuir" que esta allà el programa genera igualment la imatge virtual. Tot i així es possible que en aquella posició en que abans s'ha

¹ Un algorisme o aloritme és un conjunt finit d'instruccions que serveixen per a resoldre un problema o executar una tasca, sense ambigüetats i en un temps finit.

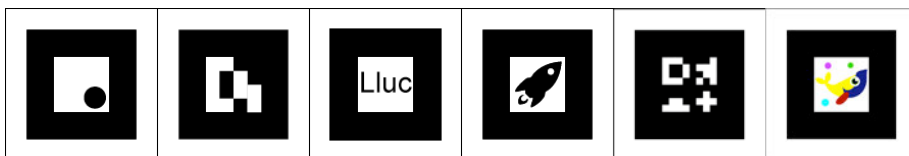
generat la imatge virtual, no es generi si prèviament no s'ha identificat el patró en una posició favorable.

És important destacar també que hi ha dues tècniques per quan es vol reconèixer un marcador. La primera és la més utilitzada i consisteix en ensenyar al programa com és el marcador. És a dir, quan l'ordinador detecta el marcador que prèviament em especificat com era ell ho detecta i processa l'informació virtual.

L'altra manera és molt més complexa i poc utilitzada. Consisteix en "fer aprendre" a l'ordinador. S'ensenyà al programa un marcador i després un de diferent i ell "aprèn" com són els marcadors, què tenen en comú i així pot identificar-ne qualsevol mentre compleixi una sèrie de característiques. L'aprenentatge dels ordinadors és un fet molt complex i molt difícil i es troba en una fase d'investigació.



Imatge 3.2 el procés en què es processa la imatge per identificar el marcador, trobar-ne la posició i orientació, posicionar l'objecte i fusionar-lo amb les imatges del món real. font: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/images/diagram.jpg>



Imatge 3.3 Diferents tipus de marcadors

3.2.2. Reconeixement sense marcadors (Markless Traking)

També es pot identificar l'escena mitjançant el reconeixement d'imatges o mitjançant l'estimació de la posició. La combinació d'ambdues tecnologies s'anomena identificació híbrida. Totes les tècniques que es fan servir per identificar l'escena mitjançant el reconeixement d'imatges són semblants a les tècniques d'odometria visual¹.

El mètode que s'utilitza consisteix en detectar les cantonades, els contorns, els llinars; tots els punts d'interès.

A la imatge 1.7 es veu una imatge del *curiosity*² on utilitza la odometria visual per a identificar el seu rastre i així saber on es troba i per on s'ha de moure.

També es poden fer servir dispositius com acceleròmetres, GPS... o tècniques com l'anàlisi d'intensitat de diferents senyals com infrarojos o senyals de radiofreqüència per tal de determinar la posició i identificar l'escena. Aquests mètodes són més complicats ja que no utilitzen cap marcador i han d'identificar una imatge del món real que no ha estat preparada prèviament i que l'entorn és variable i imprevisible. És per això que s'ajuda d'aquests dispositius que li permeten determinar la posició i identificar l'escena amb molta més precisió.



Imatge 3.4 El *curiosity* identifica les sigles LPI en morse que ell ha deixat per saber on es troba i així conduir millor. font: <http://2.bp.blogspot.com/-DYt4Lbrlhho/UEWpgIP2kDI/AAAAAAAAAKxM/1OfuQ-J7-WQ/s1600/morse-mini.jpg>

¹ procés pel qual s'obté la posició i orientació d'una càmera o sistema de càmeres mitjançant l'anàlisi d'una seqüència d'imatges adquirides, sense cap coneixement previ de l'entorn.

² És el vehicle explorador de la missió Mars Science Laboratory de la NASA. Té com a objectiu investigar si Mart té la capacitat per allotjar vida o si en un passat l'havia tingut.

3.3 Processat

Un cop reconeguda l'escena s'ha de dur a terme el procés de sobreposar la informació virtual a l'escena real capturada. La informació virtual pot ser de caràcter visual, auditiu o tàctil tot i que la majoria de sistemes de realitat augmentada actuals utilitzen només informació de caràcter visual.

3.3.1 Tipus d'informació virtual i fonaments dimensionals

Hi ha dos tipus d'informació virtual a processar.

3.3.1.1 Informació virtual bidimensional

Aquesta informació constitueix un pla geomètric digital en que cada punt es representa amb un píxel que, normalment, és un vector en l'escala RGB bàsicament consisteix en variar tres valors dels colors blau, verd i vermell (colors primaris de la llum) per a crear qualsevol color de manera que si tots els valors són 0 es forma el color negre i si tots els valors són 255 (valor màxim) es forma el color blanc. En aquesta categoria trobarem figures geomètriques planes, imatges planes, textos...

3.3.1.2 Informació virtual tridimensional

Aquest tipus d'informació consisteix en un conjunt de vectors tridimensionals per a qualsevol punt dels plans tridimensionals (x,y,z). Igual que la informació bidimensional cada vector dels punts està format per un vector RGB o de qualsevol altre tipus de representació del color.

En els sistemes de realitat augmentada, excepte aquells que utilitzen mètodes de projecció tridimensional o hologràfica¹, el dispositiu de visualització és una pantalla i per tant és un pla amb dues dimensions. Així doncs es podria pensar que només es pot representar informació bidimensional, i en certa manera és cert, però és possible simular la sensació de profunditat en un pla 2D.

Per a fer això es sol utilitzar la tècnica de projecció cònica o projecció central, bàsicament aquesta tècnica consisteix en simular la forma en que l'ull humà percep l'informació visual per mitjà de la llum i com genera la sensació 3D. Això ho fa projectant² des de un centre de projecció que és un

¹ L'holografia és una tècnica avançada de fotografia tridimensional sense l'ús de lens per formar la imatge.

² Una projecció és una tècnica de dibuix utilitzada per representar un objecte sobre el pla. Es traça línies auxiliars projectants des d'un punt anomenat centre de projecció.

punt propi.

3.3.2 Open GL

Les aplicacions de realitat augmentada, per a poder processar gràfics en 3D i en 2D, necessiten un recurs que generi aquestes figures. Aquest recurs és *Open GL*.

Open GL (Open Graphics Library) és una llibreria que permet crear aplicacions que funcionin o consumeixin gràfics en 2D o 3D. Una llibreria en les ciències de la computació és un conjunt de subrutines o subprogrames que s'utilitzen per a desenvolupar programari. És a dir, les llibreries contenen codi ja escrit i dades que proporcionen serveis a programes independents, o més aviat, passen a formar part d'aquests. L'*Open GL* és una llibreria amb més de 250 funcions i el seu funcionament bàsic consisteix en convertir primitives, com punts, línies i polígons en píxels.

En general aquest procés el poden fer totes les llibreries gràfiques però *Open GL* a més de gratuïta és de les més utilitzades.



Imatge 3.5 Imatge generada utilitzant la llibreria Open GL. font: http://www.neilturner.me.uk/2006/05/08/i_predict_a_teapot.html

3.4 Visualització

La visualització de l'escena real amb l'informació augmentada és una de les parts essencials ja que sense ella no tindria sentit tot el procés anterior. Hi ha molts sistemes per visualitzar el resultat d'una aplicació de realitat augmentada. Una de les seves classificacions és segons el cost. Es Poden trobar els sistemes de visualització d'alt cost i de baix cost.

3.4.1 Sistemes de visualització de baix cost

Els sistemes de visualització de baix cost són aquells que la majoria de la població pot adquirir de manera senzilla i barata i que es poden implantar en la majoria de dispositius tant mòbils com fixes. De fet es poden classificar segons si el dispositiu en que s'executen és mòbil o fix.

Els sistemes on el programa s'executa en un terminal mòbil tenen la gran avantatge de la mobilitat que ofereixen aquests dispositius. La majoria de dispositius ja solen portar integrat el maquinari¹ i el programari² necessaris per executar el programa. Solen ser, però, visualitzacions amb baixa qualitat o amb baixa velocitat i rendiment degut a que els dispositius mòbils integren components amb baixa capacitat de processament comparat amb altres dispositius.



Imatge 3.6 Sistema de visualització mòbil. És un joc de realitat augmentada pel mòbil. font: <http://www.quora.com/What-is-the-int13-selection-of-augmented-reality-games-like>

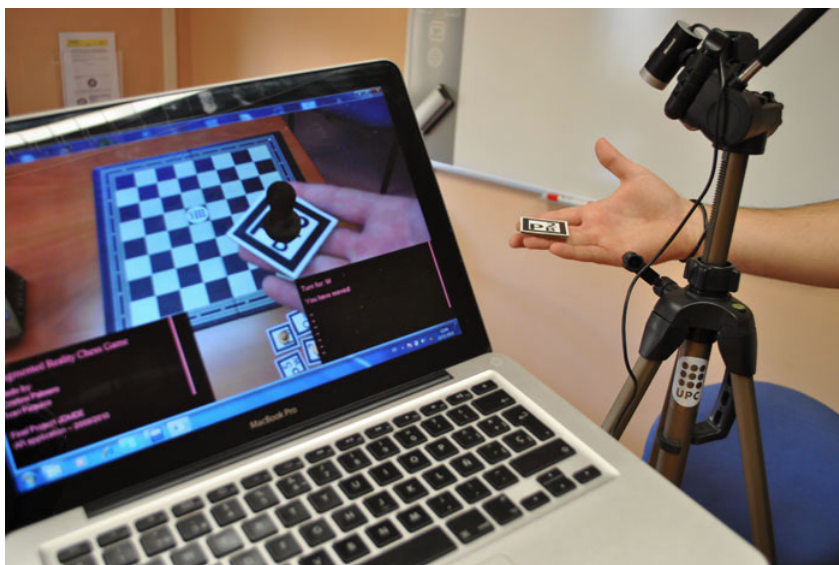
Aquells sistemes de visualització que s'executen en dispositius fixes es consideren de baix cost quan el dispositiu es pot considerar un ordinador personal. Aquests sistemes ja tenen components més adequats per l'ús de programes de realitat augmentada i les imatges de sortida ja són de més qualitat.

La foto que es mostra a continuació mostra un projecte dut a terme per uns estudiants d'enginyeria de la Universitat Politècnica de Catalunya que serveix per aprendre a jugar als escacs d'una manera molt visual i innovadora. El sistema de visualització d'aquest projecte fix i de baix

¹ Es Pot definir el maquinari (hardware) com el conjunt de tots els elements físics que constitueixen l'ordinador

² El programari (software) és la part lògica de l'ordinador, és a dir, el conjunt d'instruccions anomenades programes que fan possible que l'ordinador pugui «pensar».

cost ja que l'ordinador es pot considerar d'ús personal i no és cap supercomputador¹.



Imatge 3.7 Programa dissenyat per uns estudiants de la UPC on s'utilitza un sistema de visualització fix i de baix cost. font: http://www.upc.edu/saladeprensa/al-dia/mes-noticies/aprender-a-jugar-al-ajedrez-con-realidad-aumentada/escacs-2.jpg/image_view_fullscreen

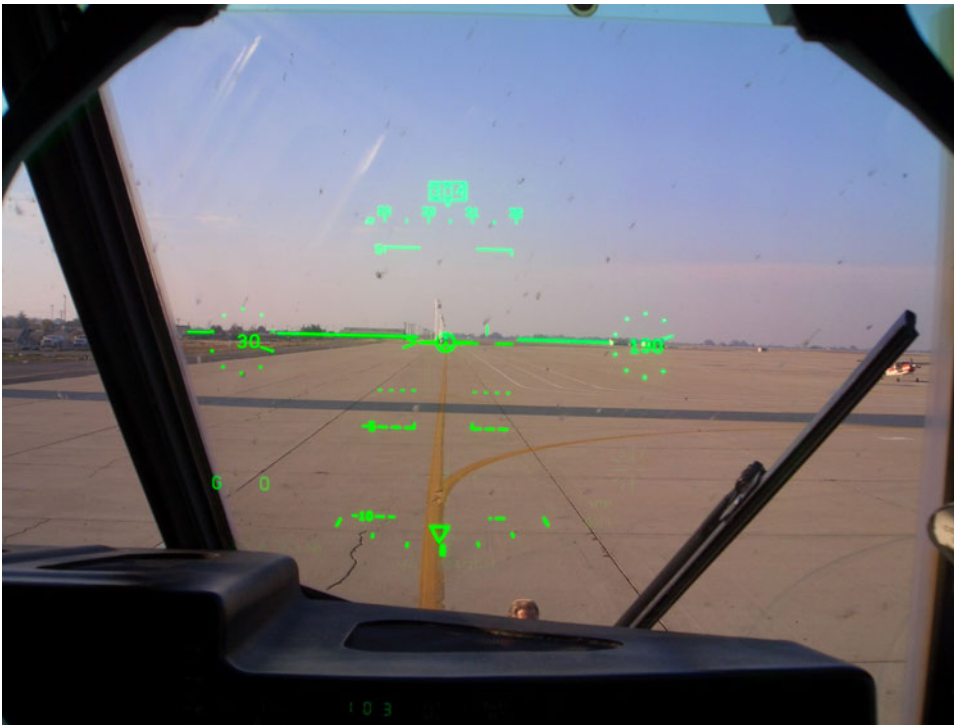
3.4.2 Sistemes de visualització d'alt cost

Els sistemes de visualització d'alt cost són escassos en la realitat augmentada però n'hi ha casos. Són aquells que impliquen un gran cost i no estan a l'abast de tothom. Es poden trobar els *HUD* (*Head up display*) que són unes pantalles transparents al qual s'hi projecta l'informació i es pot veure l'informació sense apartar la mirada. També es poden trobar sistemes de projecció en 2D i últimament en 3D que projecten imatges en els elements físics reals. Aquesta última tecnologia ha estat creixent. També es poden trobar aquells sistemes de realitat augmentada utilitzades a l'exèrcit o les simulacions de vol que els seus components tenen un alt cost i el seu programari és avançat i car.

Darrerament s'ha donat molta importància a les tècniques de representació hologràfica. Aquests avenços han permès crear objectes tridimensionals de gran qualitat, figures humanes molt realistes, crear figures tridimensionals sense electricitat (només amb miralls), o fins i tot crear hologrames que responguin a impulsos tàctils. A l'annex 1 hi ha uns exemples per entendre millor com són aquests sistemes de visualització. Hi ha dos vídeos. El primer mostra un projecte japonès d'hologrames que responen al tacte elaborant respostes tàctils. El segon mostra com es "ressuscita" l'estrella del rap Tupac Shakur creant-ne un holograma en directe a temps real. Tots

¹ És un ordinador amb les capacitats de processament molt elevades. Especialment la capacitat de càlcul.

dos es troben a l'apartat "hologrames".



Imatge 3.8 Imatge que mostra un HUD ,o Head Up Display, muntat en un avió per a orientar-se i conèixer les dades rellevants per a poder pilotar-lo bé. font: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/aa/C-130J_Co_Pilot%27s_Head-up_display.jpg

4 Anàlisi de les fases de realitat augmentada

En aquest apartat es fa un anàlisi de totes les fases en la seva integritat. Amb aquesta secció es pretén extreure conclusions sobre aquestes fases per mitjà de l'aprofundiment en la fase o bé per mitjà de l'experimentació.

4.2 Captura

4.2.1 Metodologia

En aquest apartat es discuteix la fase del que porta a darrere la captura. És la fase més simple de la realitat augmentada i l'únic interès que té és analitzar què és una càmera de vídeo i és justament el que es fa en aquest apartat de la captura perquè més enllà d'allò especificat a la secció anterior no hi ha res més.

4.2.2 Les càmeres de vídeo

Les càmeres de vídeo són uns dispositius que permeten enregistrar vídeo i so.

4.2.2.1 Funcionament bàsic

Per explicar el funcionament bàsic de les càmeres de vídeo cal distingir-les entre analògiques i digitals. El funcionament és el mateix però la digital guarda l'informació en *bytes*¹ i no en cintes magnètiques com fa la analògica. És evident que per a les característiques de la realitat augmentada l'única que es pot utilitzar és la digital ja que es necessiten dades digitals a temps real. Les càmeres bàsicament estan constituïdes per les següents parts:

- La secció de la càmera que conté el sensor *CCD* o el sensor *CMOS* i també si és convenient el mecanisme del zoom i l'enfoc.
- La secció d'emmagatzematge que en les càmeres pot ser una unitat gravadora de cintes, un disc dur i molts altres formats. En la realitat augmentada les dades s'emmagatzemen en un

¹ Un byte en informàtica és l'unitat més important per als microprocessadors. Equival a 8 bits que són la unitat mínima.

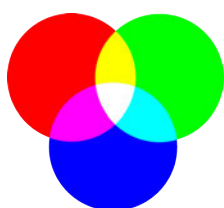
servidor¹, disc dur o memòria interna segons el dispositiu o dispositius utilitzats

- La pantalla LCD per veure allò gravat si s'escau però en la realitat augmentada no fa falta ja que es visualitza per els diferents sistemes de visualització de realitat augmentada un cop s'ha processat.

4.2.2.2 Els sensors CCD i CMOS

Les càmeres “veuen” el món a través de les lens. Les lens porten la llum de la imatge a uns sensors. Aquest sensor pot ser un CDC (Charged-Coupled device-”dispositiu de càrrega acoblada”) o bé pot ser un CMOS (*Complementary Metall Oxide Semiconductor*, Metall òxid semiconductor complementari).

El sensor CDC, bàsicament, converteix la senyal lluminosa en senyal elèctrica. Està format per uns components que són sensibles a la llum i s'anomenen fotodíodes. Cada fotodíode detecta la quantitat de llum que hi ha i la transforma a quantitat d'electricitat. Una imatge clara es representa amb una càrrega elèctrica més alta i una imatge fosca es representa amb una càrrega elèctrica més baixa. Per tant el sensor només llegeix l'intensitat de la llum i no el color. Per llegir el color no s'ha de detectar el nivell de llum total sinó els nivells de la llum de cada color. Com que tots els colors es poden fer a partir dels tres colors primaris de la llum (Blau, verd i vermell) la càmera només ha de llegir aquests tres colors.



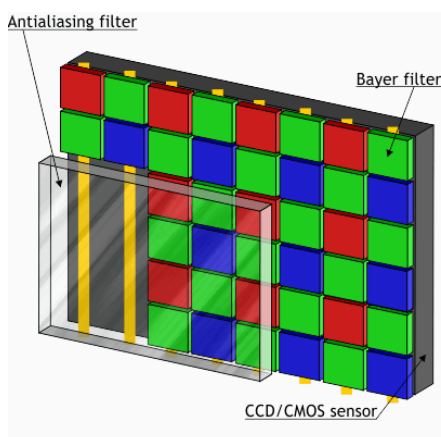
Imatge 4.1 Es pot veure com els tres colors primaris de la llum en superposar-se poden formar els altres colors. Font: <http://www.grimaldos.es/cursos/imgdig/ilus/prev/rgb.png>

Per poder veure el color algunes càmeres separen la llum en aquests colors i col·loquen tres sensors addicionals que tracten separatament cada color i després la imatge s'ajunta.

¹ un servidor és un sistema que proporciona serveis a altres sistemes informàtics (anomenats clients) dins d'una xarxa informàtica.

Com que aquest mètode és molt car ja que els CDC tenen un cost bastant elevat normalment s'utilitza el filtre de Bayer. El filtre de Bayer és un filtre que cobreix cada fotodíode perquè així un percentatge determinat d'ells treballin amb el color blau, un altre percentatge amb el color vermell i l'altre amb el color verd.

Un cop acabat aquest procés s'ha de passar l'informació elèctrica (analògica) en informació binària, és a dir, en bytes. Això ja ho fa un altre dispositiu en el cas del sensor CCD però el sensor CMOS, gràcies a la seva tecnologia CMOS, pot realitzar la conversió d'analògic a digital en el mateix sensor.



Imatge 4.2 Mostra com el filtre de Bayer es col·loca als fotodíodes del sensor CCD o del sensor CMOS per poder captar el color.

4.2.2.3 La lent

Perquè la càmera “vegi” el món fa falta una lent. Aquesta lent ha d'enfocar la llum directament al sensor i a cada fotodíode de manera que la llum hi ha d'arribar de manera precisa. Així doncs seria molt difícil per a l'usuari enfocar la càmera de manera manual. És per això que les càmeres porten una funció d'auto enfocar. El mecanisme emet un raig infraroig que rebota amb l'objecte enfocat i torna a un sensor i el sistema determina el temps que ha tardat el raig per a saber la distància en que es troba l'objecte i enfocar correctament.

També hi ha un sistema de zoom per apropar o allunyar la imatge que no hi sol ser en la realitat augmentada.

4.3 Identificació

4.3.1 Metodologia

La identificació tal com s'ha vist és un dels processos més essencials en la gran majoria d'aplicacions de realitat augmentada. Per analitzar aquesta fase s'estudiaran els aspectes següents:

- **Identificació amb marcadors**
 - Condicions de llum
 - Detecció de marcadors
- **Identificació sense marcadors**
 - Reconeixement d'imatges
 - Identificació per posicionament
 - Falsa identificació

Primer es tracta la identificació de marcadors i es fa des d'un punt de vista experimental. Es fan experiments per treballar els aspectes de les condicions de llum i la detecció de marcadors. Això es fa per mitjà de l'annex 2: La identificació de marcadors.

Per últim es tracta la identificació sense marcadors. Primer s'analitza el reconeixement d'imatges. Després s'analitza el posicionament i la falsa identificació.

4.3.2 Identificació amb marcadors

L'identificació amb marcadors, tal com s'ha vist, consisteix a identificar l'escena a partir d'un marcador específic que el sistema coneix. Un cop ha estat detectat el patró es calcula la seva posició per així identificar l'escena i poder passar a la següent fase.

És evident que per reconèixer el patró s'ha de dur a terme un procés. Aquest procés utilitza mètodes que són semblants a la visió artificial però no són els mateixos sinó que són més simplificats. Per tant el procés d'identificació d'un marcador no és explicat de forma teòrica i directa en aquest treball sinó que s'expliquen les tècniques de visió artificial posteriorment. Malgrat això una idea bàsica és necessària per entendre el concepte.

D'una manera general qualsevol programa de realitat augmentada treballa fotograma per fotograma. En cada fotograma va buscant un per un els píxels per saber si realment es troba davant d'un marcador. Si troba un marcador identifica com està col·locat i es passa a la fase d'augmentar. Cal destacar i tenir clar que aquest procés és un bucle ja que es va repetint cada cop per a identificar el marcador. Si el sistema no troba el marcador torna a començar, si el troba l'identifica i torna a buscar-lo al següent fotograma, i així successivament. Per a saber com està el marcador mesura quines mides es mantenen i quines mides canvien i així pot saber la posició relativa del marcador i aplicar-la al model tridimensional.

Per accelerar el procés el que es fa és treballar amb menys dades, és a dir, reduir el tipus de píxels amb el que es treballa. Per a treballar amb dos valors i prou el que es fa és reduir tots els píxels al blanc i negre, així doncs la majoria d'aplicacions apliquen un filtre per a passar l'imatge a dos colors (blanc i negre). D'aquest procés se'n diu binarització.

4.3.2.1 Condicions de llum

L'identificació per marcadors depèn de l'imatge d'aquest marcador per tant si la imatge queda tallada l'escena no es pot identificar. Així doncs igualment es pot pensar que si la llum fos capaç de enfosquir o il·luminar massa el marcador fins al punt que no fos visible pel programa aleshores l'escena no es podria identificar. És per això que s'ha formulat l'hipòtesis que la llum és un factor limitant en l'identificació de marcadors.

A partir d'aquesta hipòtesis s'han fet experimentacions per a demostrar-la i obtenir informació sobre aquest aspecte. S'han definit dues variables que poden afectar al reconeixement del patró: La il·luminació de l'entorn i el material del marcador.

S'ha plantejat que amb diferents tipus d'il·luminació el marcador pot canviar i que amb diferents tipus de material també. Així doncs s'ha dissenyat un experiment de la següent manera:

- S'han definit cinc tipus de il·luminació que són la il·luminació natural en una habitació, la il·luminació a l'exterior, la il·luminació artificial de l'habitació, un focus puntual de llum a la dreta en una habitació i un focus puntual de llum a la esquerra en una habitació.
- S'han definit tres materials a on imprimir o mostrar el marcador que són paper, cartolina i una pantalla de tauleta (iPad).

- S'ha dividit l'experiència entre fotos i vídeos. Les fotos són de cada material en cada tipus d'il·luminació i amb diferents orientacions, després s'ha binaritzat (passar a blanc i negre) per a veure si el marcador s'ha vist o no s'ha vist. La foto s'ha donat per bona si es visualitzava perfectament el marcador i s'ha donat per dolenta si el marcador ha quedat tapat o no s'ha vist gens. Els vídeos consisteixen en gravar l'aplicació realitzada a l'apartat 6 mentre funciona i també amb el mateix marcador, amb els mateixos materials, i amb els diferents tipus d'il·luminació s'ha provat el marcador amb diferents orientacions per a comprovar si s'identifica bé l'escena o no. Cal esmentar que els vídeos no s'han gravat en la il·luminació exterior ja que l'ha

4.3.2.1.1 Fotos realitzades amb el marcador de cartolina

Totes les fotos realitzades amb el marcador imprès en cartolina es troben a l'annex 2, a la carpeta 1.1.1 Cartolina.

Fotos amb cartolina i llum artificial

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.1.1 Artificial, de l'annex 2.

No s'observa cap condició desfavorable per a l'identificació, en totes les fotos s'observa el marcadors sense cap problema.

Fotos amb cartolina i focus dreta

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.1.2 dreta, de l'annex 2.

Només s'observen problemes a la foto 6 on es poden veure unes taques blanques a la part que hauria d'estar negre del marcador.

Fotos amb cartolina i focus esquerra

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.1.3 esquerra, de l'annex 2.

Només s'observen problemes a la foto 6 on s'observa que la part fosca de l'escena afecta al marcador per la part superior de la dreta.

Fotos amb cartolina i llum exterior

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.1.4 Exterior, de l'annex 2.

No s'observa cap condició desfavorable per a l'identificació, en totes les fotos s'observa el marcadors sense cap problema.

Fotos amb cartolina i llum natural

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.1.5 Natural, de l'annex 2.

S'observen problemes a la foto 7 i a la foto 8. A la foto 7 el marcador és completament invisible ja que el full ha quedat del tot blanc. A la foto 8 hi ha taques blanques que cobreixen la zona superior dreta del marcador.

4.3.2.1.2 Fotos realitzades amb el marcador de pantalla

Totes les fotos realitzades amb el marcador mostrat en pantalla es troben a l'annex 2, a la carpeta 1.1.2 Pantalla.

Fotos amb pantalla i llum artificial

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.2.1 Artificial, de l'annex 2.

S'observen problemes a la foto 3 i a la foto 9 on el marcador és pràcticament invisible ja que en ambdues fotos la zona blanca cobreix gran part del marcador i el deixa impossible d'identificar.

Fotos amb pantalla i focus dreta

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.2.2 dreta, de l'annex 2.

Només hi ha problemes a la foto 9 on el marcador és pràcticament invisible ja que la zona blanca cobreix gran part del marcador i el deixa impossible d'identificar.

Fotos amb pantalla i focus esquerra

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.2.3 esquerra, de l'annex 2.

Només hi ha problemes a la foto 9 on el marcador és pràcticament invisible ja que la zona blanca cobreix gran part del marcador i el deixa impossible d'identificar.

Fotos amb pantalla i llum exterior

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.2.4 Exterior, de l'annex 2.

Es pot observar que en la majoria de les fotos no es pot identificar el marcador ja que la pantalla és completament negra. De fet l'únic marcador que és identificable és el de la foto 5. Cal dir que a la foto 3 es pot veure un tros de marcador però també és impossible d'identificar com les altres.

Fotos amb pantalla i llum natural

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.2.5 Natural, de l'annex 2.

S'observa que hi ha problemes a les fotos 1, 5, 6 i 9. La foto 1 té un problema a la cantonada dreta on es visualitza massa fosc i talla el marcador. A les fotos 5, 6 i 9 el marcador surt blanc i és impossible identificar-lo.

4.3.2.1.3 Fotos realitzades amb el paper

Totes les fotos realitzades amb el marcador imprès al paper es troben a l'annex 2, a la carpeta 1.1.3 Paper.

Fotos amb paper i llum artificial

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.3.1 Artificial, de l'annex 2.

S'observa que tant a la foto 3 com a la foto 4 és impossible identificar els marcadors ja que aquests estan blancs.

Fotos amb paper i focus dreta

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.3.2 dreta, de l'annex 2.

Les fotos 1, 4, i 8 tenen problemes ja que apareixen completament blancs els marcadors o no són identificables per les taques blanques.

Fotos amb paper i focus esquerra

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.3.3 esquerra, de l'annex 2.

Es pot observar que l'única foto que té un petit problema és la foto 5 ja que en un racó la part negra de l'entorn talla una mica el marcador.

Fotos amb paper i llum exterior

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.3.4 Exterior, de l'annex 2.

No s'observa cap condició desfavorable per a l'identificació, en totes les fotos s'observa el marcador sense cap problema

Fotos amb paper i llum natural

Aquestes fotos es troben a l'apartat 1.1.3.5 Natural, de l'annex 2.

Només s'observen problemes a les fotos 4 i 5 ja que una està completament blanca i l'altra no és identificable a causa de les taques blanques.

4.3.2.1.4 Vídeos realitzats amb la cartolina

Els vídeos realitzats amb el marcador imprès a la cartolina es troben a la carpeta 1.2.1 Cartolina

Vídeos amb cartolina i focus dreta

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.1.1 dreta, de l'annex 2.

Es pot observar que quan comença el vídeo no s'identifica el marcador. Quan el marcador es gira a l'esquerra no hi ha problema i es reconeix perfectament. Quan es gira cap a la dreta es pot veure que ni al mig ni a la dreta es pot identificar el marcador.

Vídeos Amb Cartolina i focus esquerra

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.1.2 esquerra, de l'annex 2.

S'observa que el marcador quan està al mig s'identifica amb una mica de dificultats. A la dreta no s'identifica gens. Quan el marcador es gira cap avall hi ha alguna dificultat en identificar el marcador.

Vídeos Amb Cartolina i llum natural

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.1.3 natural, de l'annex 2.

Es pot observar que el marcador només s'identifica malament a la dreta, d'allà on procedeix la llum. A la resta de posicions es pot identificar perfectament.

Vídeos amb cartolina i llum artificial

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.1.4 artificial, de l'annex 2.

S'observa que només hi ha problemes en identificar el marcador quan s'enfoca amb aquest cap amunt.

4.3.2.1.5 Vídeos realitzats amb la pantalla

Els vídeos realitzats amb el marcador mostrat a la pantalla es troben a la carpeta 1.2.2 Pantalla.

Vídeos amb pantalla i focus dreta

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.2.1 dreta, de l'annex 2.

Es pot observar que hi ha dificultats en identificar el marcador en tots els girs. El marcador només s'identifica bé en posicions fixes determinades però al moure'l no funciona gaire bé ja que mostra el reflex de la llum.

Vídeos Amb pantalla i focus esquerra

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.2.2 esquerra, de l'annex 2.

S'observa que aquest vídeo, tal com l'anterior, mostra els problemes d'identificació del programa per culpa dels reflexos de la llum al moure el marcador. Per tant no s'identifica sempre sinó que només en alguna posició fixa.

Vídeos Amb pantalla i llum natural

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.2.3 natural, de l'annex 2.

Es pot observar que el marcador no s'identifica correctament quan es troba amb un reflex puntual a l'esquerra o amb un reflex que el tapa del tot a la dreta.

Vídeos amb pantalla i llum artificial

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.2.4 artificial, de l'annex 2.

Es pot observar que el marcador no s'identifica quan la pantalla reflexa llum. Aquest cop no s'ha identificat a dalt i tampoc s'ha identificat correctament a algun moment quan esta al mig.

4.3.2.1.5 Vídeos realitzats amb el paper

Els vídeos realitzats amb el marcador imprès al paper es troben a la carpeta 1.2.2 Pantalla.

Vídeos amb paper i focus dreta

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.3.1 dreta, de l'annex 2.

S'observa que hi ha dificultats per a identificar el marcador en tots els girs menys el gir a l'esquerra que s'identifica bé.

Vídeos Amb paper i focus esquerra

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.3.2 esquerra, de l'annex 2.

Es pot observar que el marcador no es pot identificar amb gaire èxit, com al vídeo anterior, ja que no s'identifica bé el marcador en la majoria de girs. Només s'identifica bé quan es gira a la dreta.

Vídeos Amb paper i llum natural

Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.3.3 natural, de l'annex 2.

S'identifica bé el marcador en la majoria de girs però no es pot identificar bé quan es gira a la dreta, és a dir, d'on prové la llum natural.

Vídeos amb paper i llum artificial

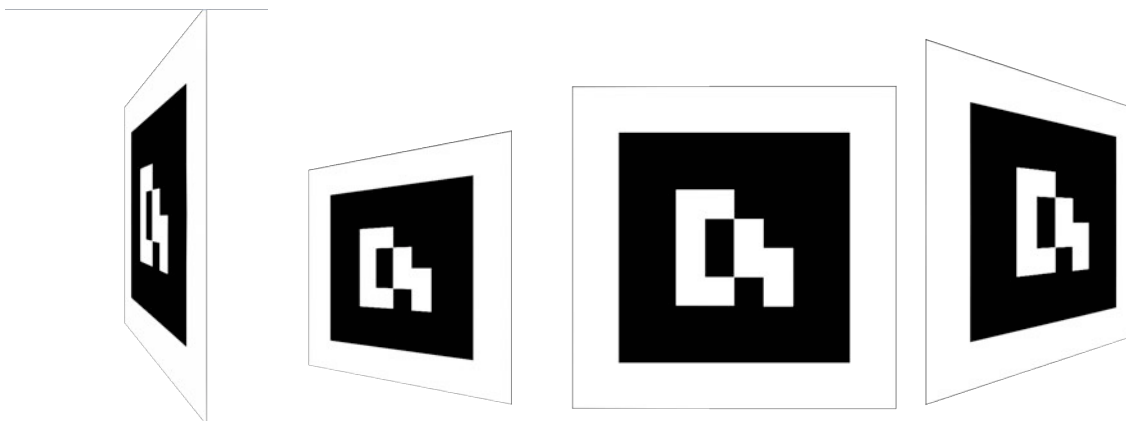
Aquest vídeo es troba a l'apartat 1.2.3.4 artificial, de l'annex 2.

S'observa que el marcador s'identifica bé en tots els girs menys el que es fa cap amunt, és a dir, d'on prové la llum.

4.3.2.2 Gir dels marcadors

També s'ha fet una petita experiència perquè s'ha vist que en girar un marcador hi ha un punt en que el model tridimensional ja no surt perquè el marcador ja no detecta bé tal i com mostra el vídeo de l'annex 2 a la carpeta "2.5 vídeo". També ha sorgit el dubte de com el ho fa el programa de realitat augmentada per a determinar que el marcador ha canviat.

S'ha fet l'hipòtesi que el gir fa disminuir les dades del marcador fins a un cert punt que no es reconeix. S'ha fet un model tridimensional d'un marcador i s'ha fet girar en diferents angles de 0, 15, 30, 45, 60 i 75 graus i després en el sentit contrari i amb diferents eixos x, y z i després sobre la seva diagonal. A partir d'això s'han fet observacions.



Imatge 4.3. Diferents girs dels marcadors.

També amb alguns d'aquests marcadors girats s'ha adjuntat en un document d'excel que ha simulat ser el programa de realitat augmentada que llegeix els píxels. A cada quadre negre s'assigna el valor 1 i a cada quadre blanc s'assigna el valor 0.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Imatge 4.4 Exemple de la taula d'excel que simula la matriu que utilitza un programa de realitat augmentada

Observacions del gir

En l'annex 2, a les carpetes 2.1, 2.2, 2.3 i 2.4 es troben els girs sobre els eixos x, y, z i sobre les diagonals del marcador.

S'ha observat que en realitzar rotacions hi ha una mida que sempre es manté igual. En el cas de rotació amb l'eix x sempre hi ha una paral·lela a l'eix x que manté la mida. El mateix passa amb la resta de rotacions.

Observacions de la taula

La taula esta adjuntada a l'annex 2, a la carpeta 2.6 taula.

A la taula es veu com cada cop és més difícil poder assignar un valor 1 o 0 a un quadre ja que cada cop és més difícil de veure si hi ha més color negre o més color blanc. El principi és fàcil assignar un valor. Després s'ha de decidir si hi ha més blanc que negre però finalment es fa una tasca molt complicada.

4.3.3 Identificació sense marcadors

Es defineix l'identificació sense marcadors, tal i com s'ha vist, com aquella identificació de l'escena que no utilitzi cap marcador que el sistema conegui. Aquest tema però, és molt general. En aquest apartat s'aprofundeix en l'identificació sense marcadors ja que pot tenir moltes formes diferents que són exposades en aquest treball i que, quan es pot, s'exemplifica amb l'aplicació dissenyada com a resultat d'aquest treball.

4.3.3.1 Reconeixement d'imatges

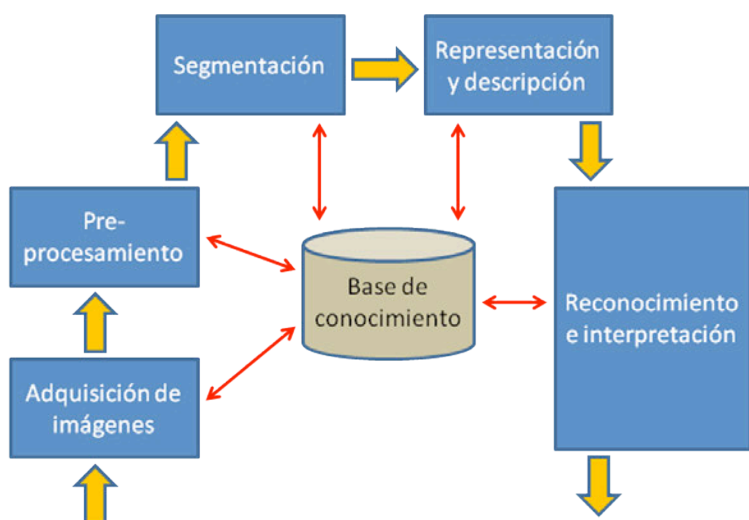
El reconeixement d'imatges consisteix en extreure la informació necessària, de les imatges que rep el dispositiu de l'usuari, per identificar l'escenari real que es vol augmentar.

Dintre d'aquest tipus d'identificació, en el món de la realitat augmentada es poden diferenciar clarament dos conjunts de tècniques de reconeixement d'imatges. Tal i com hem vist aquests conjunts són el reconeixement automàtic d'escenaris mitjançant la visió artificial, i el reconeixement per marcadors específics, definits i coneguts pel sistema.

En aquesta secció s'exposen les tècniques de visió artificial però no s'especifica quines participen en l'identificació d'escenaris ja que depèn molt de l'entorn i no és possible explicar-ho. També cal

destacar que per a la identificació per marcadors no utilitzen les tècniques de la visió artificial. Tot i així, les tècniques que s'usen per identificar el patró són similars però de manera molt simplificada. És igualment important posar de manifest que les tècniques de visió artificial són molt complicades tècnicament i que l'objectiu de la secció és només fer-ne un breu resum.

El procés de reconeixement d'imatges consisteix en els següents passos. Primer s'adquireix la imatge mitjançant algun dispositiu de captura. Després es realitza una etapa de processat per a eliminar imperfeccions de la imatge com el soroll. Després es procedeix a segmentar l'imatge per ajudar a les fases posteriors. Després es fa un processat per a buscar característiques morfològiques, és a dir, pertinents a la forma tals com textures o perímetres. Aquesta etapa s'anomena representació i descripció. Per últim s'ha de reconèixer i interpretar l'escena. Tot això ho fan mitjançant una base de coneixement de la qual n'obtenen dades però també n'hi aporten.



Imatge 4.5 Aquest esquema mostra els processos de reconeixement d'imatge.

Adquisició d'imatges

Aquesta etapa consisteix en obtenir les imatges de la millor manera possible. Aquesta etapa ja es dona de forma automàtica en els dispositius de captura.

Processament digital

La fase consisteix en quantificar i codificar el senyal de vídeo o de fotografia rebuda en forma d'imatge. L'objectiu és obtenir una nova imatge que millori la seva qualitat i destaquï algun atribut significatiu d'aquesta. Els problemes de qualitat poden ser deguts a problemes d'il·luminació o al soroll.

Les tècniques de processament digital es poden dividir bàsicament en tècniques que tracten l'espai i tècniques que tracten la freqüència.

Les que tracten l'espai determinen les distàncies entre els píxels, i determinen la connectivitat entre píxels adjacents.

Les tècniques que tracten la freqüència es basen en un conjunt de manipulacions matemàtiques com la transformada ràpida de Fourier. Aquestes tècniques es poden fer servir per augmentar el contrast, suavitzar o eliminar el soroll i detectar les vores de l'imatge.

Segmentació

La fase té com a objectiu agrupar els píxels per algun criteri d'homogeneïtat per dividir l'escena en regions d'interès. L'agrupació de píxels es fa a raó de la similitud entre píxels adjacents. Un cop s'ha realitzat la segmentació l'unitat més petita de treball ja no serà el píxel sinó una agrupació de píxels que constituïran objectes.

Representació i descripció

Durant el procés de segmentació el resultat de la limitació d'objectes de vegades no ha sigut precisa. Per poder seguir treballant és necessari realitzar un processat amb l'objectiu de realçar la geometria i la forma dels objectes de l'escena. Aquest processament es coneix com a processament morfològic.

Reconeixement i interpretació

Aquest procés consisteix en assignar un valor numèric a cada píxel i a partir de les dades qualitatives i d'unes bases de dades poder assignar una etiqueta qualitativa i poder identificar finalment l'escena. Aquesta tasca és la més complicada.

4.3.3.2 Identificació per posicionament

La identificació d'escenaris mitjançant posicionament es realitza gràcies a l'estimació de la posició i de l'orientació de l'usuari, deduint d'aquesta forma què és el que veu.

Les operacions de càlcul necessàries per realitzar el reconeixement d'imatges sol ser molt més costoses en quant a recursos i a temps que no pas les que realitza una aplicació de posicionament. Això fa que el posicionament sigui útil per a dissenyar aplicacions a temps real. Tot i així el posicionament comporta moltes dades i operacions que potser fan necessari la presència de servidors que guardin la informació. Hi ha aplicacions que poden utilitzar dispositius auxiliars com

sensor de moviment o càmeres que detectin el moviment ocular per a estimar també l'escena que l'usuari està visualitzant.

El sistema de posicionament global és un servei que proporciona als usuaris informació sobre posicionament i navegació. El sistema GPS està format per tres segments que són l'espacial, el de control i el d'usuari. El segment espacial consisteix en un grup de 24 satèl·lids que envien informació sobre la posició i hora de cada satèl·lid. El segment de control realitza el seguiment i control dels satèl·lids des de la terra. El segment d'usuari es troba localitzat als terminals i receptors GPS i determina la posició tridimensional.



Imatge 4.6 Es pot veure la terra envoltada de satèl·lids de GPS. Font: <http://www.way2science.com/wp-content/uploads/2012/08/gps.jpg>

Per un dispositiu receptor de GPS el funcionament és el següent. Quan vol determinar la posició ha de rebre tres senyals de tres dels 24 satèl·lids disponibles, que contenen informació sobre la posició del satèl·lid i l'hora en que la senyal s'ha enviat. Amb aquestes senyals el GPS calcula la distància del satèl·lid. Mitjançant triangulació amb les tres senyals rebudes s'estima la posició relativa respecte els satèl·lids. Després es calcula la posició absoluta sobre el planeta.

Portant la tecnologia GPS als sistemes de realitat augmentada, es pot apreciar clarament com, en entorns a l'aire lliure i amb l'ajuda d'una simple brúixola digital, aquesta tècnica és una solució per determinar l'escena de l'usuari. Tot i així, l'ús de sistemes de realitat augmentada en entorns tancats no resulta aplicable ja que comporta un error d'estimació que porta el sistema. L'error mitjà és de dos metres i mig. Per tant, en entorns tancats on cal precisió de centímetres, la tecnologia GPS no és aplicable.

Cal també dir que hi ha una tècnica d'estimació de la posició del dispositiu mitjançant els sensors de moviment com l'acceleròmetre o el giroscopi. Per ella sola, aquesta tècnica no és capaç de donar una posició global del dispositiu sinó que dona una posició relativa. Però tot i així a moltes

aplicacions els hi pot servir aquesta dada i és per això que moltes aplicacions fan ús d'aquests sensors per identificar l'escena.

4.3.3.3 “Falsa” Identificació

Hi ha un mètode d'identificació de l'escena en algunes aplicacions que no té gaire interès però s'explica en contrast a la dificultat de les tecnologies anteriors, sobretot el reconeixement d'imatge. Aquesta tècnica consisteix en no identificar l'escena sinó fer un augment a l'atzar allà on toqui de la pantalla. Aquesta tècnica pot ser útil si l'aplicació és molt senzilla i realment no vol donar sensació de realisme sinó que el seu objectiu és un altre.

4.4 Processat

El processat, tal com hem vist, és aquella fase de la realitat augmentada en que es barregen els dos entorns, el virtual i el real. El processat és una fase que porta a darrere moltes parts, conceptes, disciplines, components... Aquesta secció fa una anàlisi més profunda d'aquests elements però dins de l'objectiu del treball. És per això que aquesta anàlisi explica les disciplines que involucra aquesta fase però no s'hi endinsa massa.

4.4.1 Metodologia

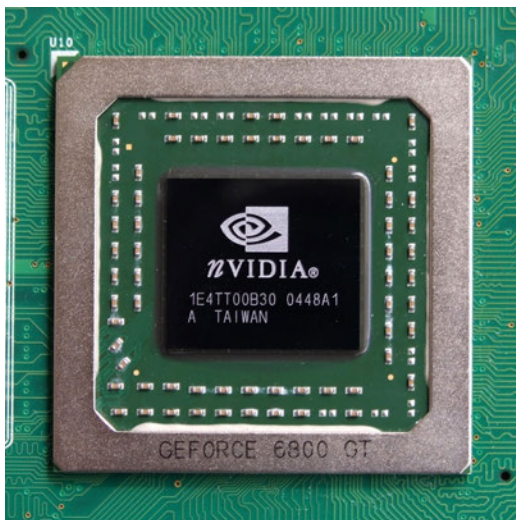
El mètode utilitzat per aquest treball és un mètode d'anàlisis. Consisteix en aprofundir en allò abans introduït en la secció d'explicació per a tenir una visió més profunda d'aquesta fase de la realitat augmentada. Seguint aquesta metodologia doncs la secció explica primer de tot la unitat de processament gràfic, després es fa un anàlisi dels conceptes de projecció i de sistemes de representació al pla d'objectes tridimensionals.

4.4.2 La unitat de processament gràfic

Quan se sent el nom de processat el primer concepte que cal entendre és el de processador. El processador és aquell component principal d'un ordinador o d'altres dispositius programables que interpreta instruccions contingudes en els programes i processa les dades . Tot i així, aquest no és el processament al que es fa referència quan es parla de la fase del processat sinó al processament gràfic. L'encarregat del processament gràfic és un coprocessador que ajuda al principal i que és anomenat unitat de processament gràfic o GPU. Aquest coprocessador s'encarrega de processar gràfics per alleugerir la càrrega de treball del processador principal en aplicacions com jocs o aplicacions en què intervinguin gràfics tridimensionals com la realitat augmentada. Així doncs mentre la GPU s'ocupa dels gràfics el processador pot ocupar-se d'altres càlculs com la visió artificial, la intel·ligència artificial, o altres tipus de càlculs.

Les GPU estan formades per dos parts principalment: les parts que processen vèrtexs i les parts que processen píxels. Així cons les unitats principals de la GPU són aquestes, els vèrtex i els píxels. A més a més també compta amb una memòria de gran velocitat per emmagatzemar resultats intermedis de les operacions que realitza.

La programació de la unitat es realitza a través de API o interfícies gràfiques de programació d'aplicacions que proporcionen un llenguatge homogeni. Una de les API més conegudes és *OpenGL* i també *DirectX*.



Imatge 4.7 Aquesta foto mostra una GPU de la marca “nVidia” [font:http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/GPU_Nvidia_NV40_6800GT_AGP.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/GPU_Nvidia_NV40_6800GT_AGP.jpg)

4.4.3 La projecció gràfica

La projecció gràfica és aquella tècnica de dibuix emprada per a representar un objecte sobre una superfície. És evident que això és essencial per a la realitat augmentada ja que la majoria de pantalles són planes hi han de representar objectes que són tridimensionals.

La figura s’obté utilitzant línies auxiliars projectants que partint d’un centre de projecció es perllonguen fins a tallar un pla anomenat pla de projecció. Aquest punt pot ser propi o impropï. Sí el punt és propi la projecció és anomenada cònica. Si el punt és impropï, és a dir que està a l’infinit, la projecció és anomenada cilíndrica. Aquesta projecció pot ser ortogonal si els rajos projectants són perpendiculars al pla de projecció i pot ser obliqua si no ho són.

Així doncs a partir d’aquestes projeccions es creen els sistemes de representació de figures al pla. Els sistemes de representació són l’acotat, el dièdric, l’axonomètric i el cònic. El sistema acotat

utilitza projecció cilíndrica ortogonal. El sistema dièdric també utilitza projecció cilíndrica ortogonal. L'axonomètric utilitza projecció cilíndrica ortogonal o cilíndrica obliqua. El sistema cònic utilitza la projecció cònica.

El sistema dièdric utilitza la projecció cilíndrica ortogonal a dos plans perpendiculars entre ells. La projecció al pla vertical s'anomena alçat i la projecció al pla horitzontal s'anomena planta. No interessa en realitat augmentada pel seu poc nivell de realisme.

El sistema acotat utilitza la projecció cilíndrica ortogonal sobre un sol pla de projecció indicant les altures en cada punt. Aquest sistema tampoc interessa a la realitat augmentada perquè tampoc té realisme

El sistema axonomètric projecta sobre tres plans perpendiculars entre ells i aquestes projeccions es projecten sobre un pla de projecció que no pot ser cap dels plans anteriors ni un dels eixos. Aquest sistema és l'utilitzat en aplicacions de realitat augmentada.

El sistema cònic projecta un cos sobre un pla des d'un punt de vista que fa d'ull de l'observador. Les rectes que no són paral·leles convergeixen a un punt anomenat de fuga. El sistema cònic és el més realista i per tant també és molt utilitzat en la realitat augmentada.

4.5 Visualització

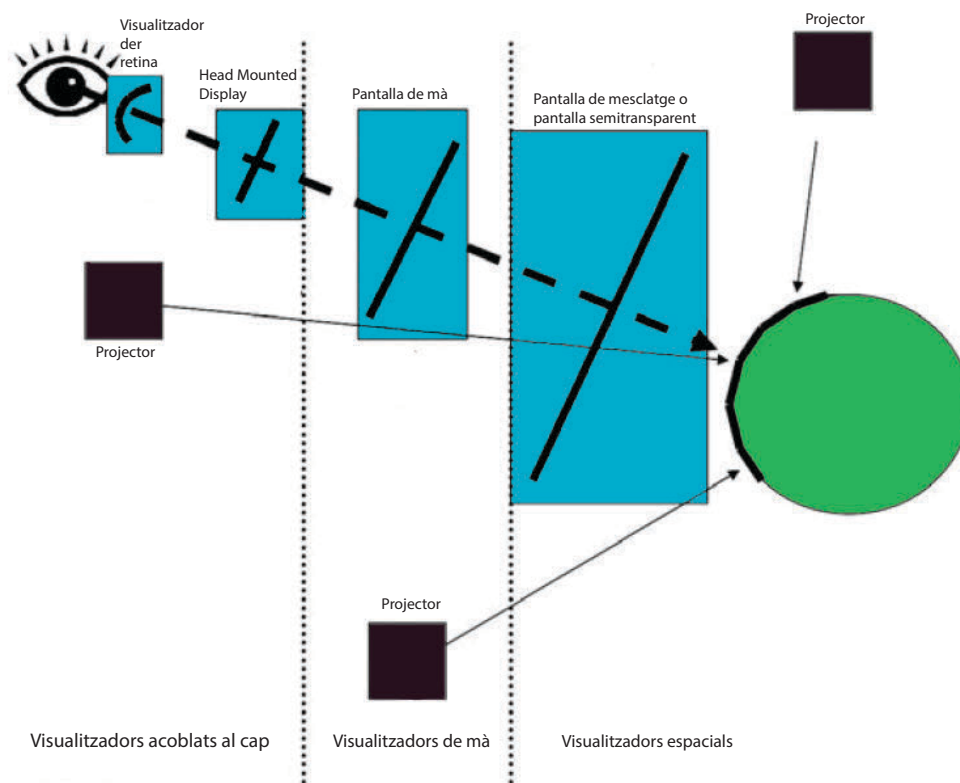
La visualització és una de les fases més importants de la realitat augmentada ja que visualitzar el procés és l'últim pas. Consisteix en visualitzar els dos entorns, el real i el virtual, mesclats. Així doncs la manera en que es visualitza l'aplicació determina

4.5.1 Metodologia

La visualització pot tenir moltes formes diferents. En la secció d'explicació de la visualització es va deixar clara una classificació de sistemes de visualització però els sistemes de visualització són més amplis i complexes. En aquesta fase s'analitzen tots els sistemes de visualització de la realitat augmentada però només per aprofundir en l'aspecte. Cal tenir en compte que per conèixer el funcionament exacte d'aquests sistemes de visualització són necessaris fonaments d'òptica però aquest grau de coneixement no és necessari en aquest treball ja que no és l'objectiu.

4.5.2 Els sistemes de visualització

Els sistemes de visualització són molt diversos i es basen tots en òptica. A continuació hi ha una il·lustració que el que pretén és explicar com poden ser els sistemes de visualització. Els sistemes de visualització poden ser visualitzadors acoblats al cap, visualitzadors de mà o visualitzador espacials.



Imatge 4.8 esquema que mostra com poden ser els sistemes de visualització de realitat augmentada

4.5.2.1 Els visualitzadors acoblats al cap

Els visualitzadors acoblats al cap tal com indica el seu nom són dispositius que queden acoblats al cap i permeten una visualització des de la zona de visió més propera. Inclouen els visualitzadors de retina, els *HMD*, i els projectors.

Els primers són uns visualitzadors que amb un làser monocromàtic de baixa potència projecten l'imatge directament a la retina. Aquest visualitzador té l'inconvenient que només pot representar un color ja que no hi ha làsers blaus ni verds de baixa potència que no afectin a la salut. Els segons són uns cascs que acoblats al cap permet veure-hi a través d'una pantalla petita LCD on es fa la

mescla allà o a una pantalla semitransparent o altrament anomenada *optical see through*. Tenen el gran inconvenient que la resolució és molt petita per culpa de la pantalla que ha de ser molt petita. També tenen el problema de que el camp de visió és limitat. Els últims són uns projectors que es munten en forma de casc i es reflecteixen en una superfície que només pot veure el que porta el casc. Els inconvenients són els de qualsevol dispositiu acoblat al cap: el pes, la poca portabilitat, l'excessiu grau de proximitat...

4.5.2.2 Els visualitzadors de mà

Els visualitzadors de mà són aquells sistemes de visualització que són portàtils i s'aguanten al nivell de la mà. Inclouen les pantalles de mà i els projectors de mà.

Les pantalles de mà no són res més que pantalles en dispositius com per exemple mòbils. Aquestes pantalles poden ser de mescla com les del mòbil o semitransparents tot i que no és gaire comú. Els projectors de mà són dispositius de projecció que es porten a la mà i que augmenten la realitat a partir de projeccions. En els visualitzadors de mà l'inconvenient és que no tenen un camp de visió molt ampli.

4.5.2.3 Els visualitzadors espacials

Els visualitzadors espacials són tots aquells dispositius que no estan acoblats al cos de cap manera i que es troben a una distància d'aquest. Inclouen les pantalles de mescla, les pantalles semitransparents i els projectors.

Les pantalles de mescla són les típiques pantalles com les de l'ordinador que mesclen l'entorn real amb l'entorn virtual. Les pantalles semitransparents són aquelles que augmenten l'entorn només amb informació virtual ja que elles mateixes són transparents i no necessiten doncs dispositius de captura. Els projectors poden projectar informació virtual als objectes reals en superfícies planes o corbes. Els inconvenients d'aquests sistemes és que no són portàtils i necessiten unes instal·lacions específiques i especials.

5. Anàlisis d'aplicacions de realitat augmentada

Allò que realment és el producte de la realitat augmentada són les aplicacions. Durant el treball s'ha parlat de molts tipus d'aplicació però no s'ha fet un anàlisis detallat de les aplicacions que hi ha sinó de les utilitats que pot tenir la realitat augmentada en la vida quotidiana. En aquesta secció es parla de aplicacions de realitat augmentada reals. La secció s'estructura en dues parts. La primera part parla del mercat en general de les aplicacions, les que es troben actualment i com són en general, quins tipus predominen i quins tipus escassegen. La segona part es centra en dues de les aplicacions de la part anterior que són més rellevants que les altres. D'aquestes se'n analitzen els processos de la realitat augmentada. Totes les parts es basen en les fitxes tècniques completades en l'annex 3.

5.1 Anàlisis general de les aplicacions

Mitjançant les fitxes tècniques s'ha fet un anàlisi general de les aplicacions que es troben actualment al mercat. Això es fa amb l'objectiu de veure com està el mercat d'aplicacions actualment, per veure quin tipus d'aplicacions es troben, quin tipus predomina, els preus, la tecnologia utilitzada i molts d'altres aspectes. La fitxa tècnica dissenyada consta de les següents parts:

- **Informació general.** Aquesta part inclou informació general de l'aplicació que no està directament relacionada amb la realitat augmentada. Inclou les següents parts:
 - **Nom de l'aplicació**
 - **Empresa o desenvolupador de l'aplicació**
 - **Plataforma (per quins dispositius funciona)**
 - **Llicència (gratuïta o de pagament)**
 - **Descripció**
 - **Altres serveis de l'aplicació**
 - **Requereix Internet?**

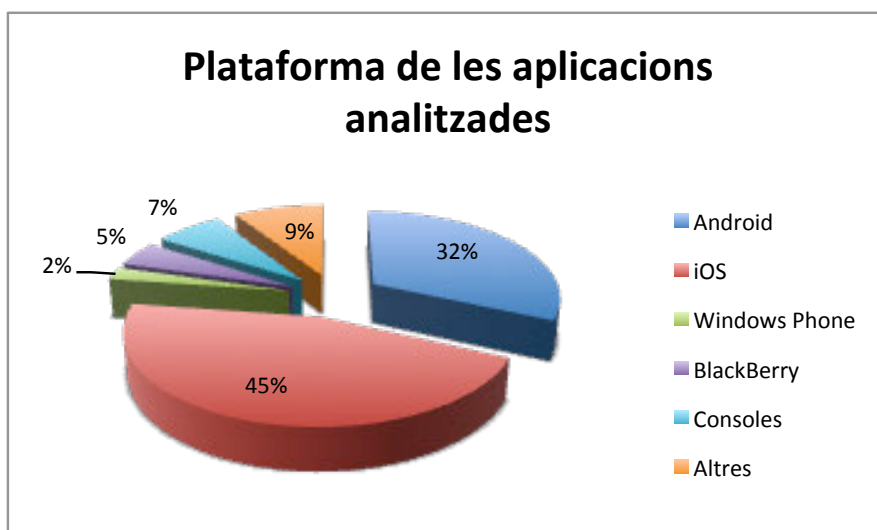
- **Informació de realitat augmentada.** És la informació que fa referència a la realitat augmentada i a tots els aspectes vistos en aquest treball. Consta de les següents parts:

- Tipus de dispositiu de captura
- Sistema d'identificació (foto del marcador)
- Dispositius auxiliars d'identificació
- Tipus d'emmagatzematge
- Tipus d'informació que es processa
- Processador
- Cost de la visualització
- Sistema de visualització

5.1.1. Resultats

Amb les dades extretes de les fitxes tècniques s'analitzen els següents aspectes:

- Portabilitat de les aplicacions
 - Plataforma de les aplicacions
 - Llicència de les aplicacions
 - Sistema d'identificació de les aplicacions
 - Sistema de visualització de les aplicacions
- Es pot observar que el 20% de les aplicacions analitzades són per a sistemes fixes mentre que el 80% són aplicacions per a dispositius mòbils.
- La plataforma de les aplicacions s'expressa amb el gràfic següent:



- Es pot observar que hi ha un 51% de aplicacions gratuïtes i un 49% de pagament.
- S'observa que el 71% de les aplicacions utilitza un sistema d'identificació sense marcadors mentre un 29% utilitza un sistema d'identificació amb marcadors
- També es pot observar que el 83% de les aplicacions utilitza visualitzadors de mà, el 14% utilitza els visualitzadors espacials i un 3% els *Head Mounted Displays*.

5.2 Anàlisi de l'aplicació Augment

L'aplicació consisteix en augmentar models tridimensionals que puguen els usuaris a Internet. Consta d'una part també on pots crear crear cubs per augmentar sense disposar de connexió a Internet.

L'aplicació captura les imatges a partir de la càmera del dispositiu mòbil, en aquest cas d'Android o iOS. Després identifica l'escena amb un marcador. Aquest marcador té una peculiaritat i és que el pots tallar, tapar, pintar i normalment segueix funcionant. No segueix l'estructura dels altres marcadors el que fa que aquesta aplicació sigui molt diferent ja que les formes d'aquest marcador són rodones i irregulars.

Pel que fa el processament aquesta aplicació utilitza el processador que tingui el mòbil i la targeta gràfica també. La visualització també és amb la pantalla del dispositiu.

5.3 Anàlisi de l'aplicació Eye pet

L'aplicació Eye pet consisteix en un joc per a una consola que no és portàtil que consisteix en tenir una mascota virtual que és augmentada a l'entorn de casa teva.

L'aplicació realitza la captura des d'una càmera de Sony anomenada Playstation Eye.

Realitza l'identificació a partir d'un marcador que és únic. Allò interessant d'aquesta aplicació és la fase de processament. L'aplicació ha de carregar moltes dades i ho fa des de la consola mateixa, és a dir, és un sistema autònom que no depèn de cap servidor. La mascota té una intel·ligència artificial fet que demostra que les aplicacions de realitat augmentada poden combinar-se també amb altres tecnologies. Pel que fa la visualització és amb la pantalla de la televisió i per tant és de visualitzador espacial.

6 Desenvolupament d'una aplicació de realitat augmentada creada amb *FLARToolKit*

En aquest apartat s'expliquen l'elaboració i els aspectes tècnics d'una aplicació de realitat augmentada creada per a explicar i demostrar certs aspectes d'aquest treball, per a aplicar els coneixements adquirits durant la recerca i sobretot com a propi resultat del treball.

L'aplicació es troba a l'enllaç: <https://dl.dropbox.com/u/29073262/Aplicaci%C3%B3/index.html>

Si l'enllaç anterior no funcionés per qualsevol motiu, l'aplicació es pot trobar al bloc de l'annex 1.

L'aplicació està penjada a Internet i la connexió pot fallar per qualsevol raó o bé l'experiència que ofereix l'aplicació es pot veure afectada per una connexió lenta. És per això que l'aplicació també es troba a l'annex 2 a la carpeta "aplicació" i es pot obrir fent doble clic a l'arxiu "*index.html*" o obrint aquest mateix arxiu amb qualsevol navegador d'Internet.

Les instruccions es troben al bloc i també a la pròpia aplicació a la pestanya "descarrega".

6.1 Metodologia

En aquesta secció s'analitza l'aplicació des de tres punts bàsics: conceptes previs, disseny i programació.

S'han de definir uns conceptes previs per a tal de conèixer els aspectes que comporten crear una aplicació. Alguns d'aquests aspectes són de programació com aplicació, llenguatge de programació, biblioteca de programació... D'altres són aspectes de la realitat augmentada i de programació al mateix temps. Bàsicament són els aspectes que envolten les biblioteques de programació de realitat augmentada.

Posteriorment es fa la descripció de l'aplicació per a tal de especificar el tipus d'aplicació que és i poder justificar el perquè del disseny i la programació.

Una part molt important en el procés de creació ha estat el disseny de l'aplicació. Per això des de l'apartat de disseny es parla de com s'ha dissenyat l'aplicació adaptant al format que havia de tenir i en general quin ha estat el seu procés de disseny i estructura separats de l'estructura i disseny de la programació. També es fa un anàlisi dels marcadors i dels models tridimensionals utilitzats a l'aplicació. Tots els materials analitzats es troben en l'annex 4.

El cor de l'aplicació és el llenguatge i és per això que l'última part aborda el tema de la programació de l'aplicació utilitzant el codi de l'annex 4. Així doncs s'analitza l'estructura i disseny de les dues parts de l'aplicació: Reconeixement de més d'un marcador i reconeixement d'un sol marcador. Degut a la diferència de codis s'analitzen separatament.

6.2. Conceptes previs

La creació d'una aplicació comporta el coneixement de certs conceptes que són indispensables alhora d'entendre-la i crear-la. La primera pregunta que sorgeix alhora de crear una aplicació és la definició del propi concepte.

6.2.1 Programa informàtic

Un programa informàtic és un conjunt ordenat d'ordres que es dona a una computadora per realitzar una determinada tasca. També és conegut com aplicació informàtica, és la part lògica de l'ordinador, la qual cosa vol dir que és el conjunt d'instruccions que pot executar el maquinari per a realitzar les tasques de computació a les que es destina.

6.2.2.1 Classificació del programari

Aquesta classificació és segons la finalitat pràctica del programari. Es pot classificar en tres grans grups:

1. Programari de sistema. Aquest programari té com a objectiu desvincular adequadament a l'usuari i al programador dels detalls de la computadora quan s'usa. Així doncs s'aïlla a l'usuari de processaments de les característiques internes com memòria, discs, ports i dispositius de comunicació, impressores, pantalles... Inclou el sistema operatiu i el sistema de suport.
2. Programari de programació. És el conjunt d'eines que permeten desenvolupar programes informàtics.

3. Programari d'aplicació. És aquell que permet als usuaris dur a terme una o diverses tasques específiques, en qualsevol camp d'activitat que necessiti o sigui susceptible a ser automatitzat o assistit.

Tot i aquesta classificació hi ha altres classificacions possibles i altres tipus de programari que es poden considerar com microprogramari, programari portàtil, biblioteques de programació...

6.2.2 Llenguatges de programació

Un llenguatge de programació és un llenguatge informàtic utilitzat per controlar el comportament d'una màquina, normalment un ordinador. Dit d'una altra manera, el llenguatge de programació és aquell llenguatge utilitzat per a crear programes. Cada llenguatge té una sèrie de regles que cal seguir per escriure un programa i que en descriuen l'estructura i el significat.

Els llenguatges de programació poden ser de baix nivell o d'alt nivell segons la proximitat al codi binari¹, utilitzat directament per l'ordinador per a fer operacions. Els llenguatges de baix nivell s'assemblen molt al codi binari. Els llenguatges d'alt nivell són més propers al llenguatge humà.

La diferència entre llenguatges de baix i alt nivell es veu clarament comparant dos programes que escriuen la paraula "hola" a la pantalla, el primer fent servir llenguatge de baix nivell i el segon llenguatge d'alt nivell.

En llenguatge de baix nivell seria així:

```
MODEL SMALL
```

```
IDEAL
```

```
STACK 100H
```

```
DATASEG
```

```
HW DB 'Hola!$'
```

```
CODESEG
```

```
MOV AX, @data
```

```
MOV DS, AX
```

```
MOV DX, OFFSET HW
```

```
MOV AH, 09H
```

```
INT 21H
```

¹ El sistema binari és un sistema de numeració en el qual tots els nombres es representen utilitzant com base dues xifres: zero i un (0 i 1)

```
MOV AX, 4C00H  
INT 21H  
END
```

El llenguatge d'alt nivell seria així:

```
print "Hola!"
```

Un mateix programa no es pot executar sempre un cop ha estat escrit sinó que s'ha de definir l'implementació d'aquest. L'implementació proveeix una manera que s'executi un programa per a una determinada combinació de programari i maquinari. Existeixen dues maneres d'implementar un llenguatge de programació i són la compilació i la interpretació.

La compilació és el procés que tradueix un programa escrit en un determinat llenguatge de programació en un altre llenguatge, generant així un programa equivalent que l'ordinador podrà interpretar anomenat codi màquina.

La interpretació és una assignació de significats a les fórmules d'un llenguatge formal. Un llenguatge interpretat ha estat dissenyat per a ser executat per mitjà d'un intèrpret i no traduït a codi màquina com els programes compilats. Se'ls coneix com a llenguatges *script*.

6.2.3 Les biblioteques de programació

Una biblioteca de programació és un conjunt de subrutines o subprogrames utilitzats per a desenvolupar programari. Les biblioteques contenen codi i dades, que proporcionen serveis a programes independents, és a dir, passen a formar part d'aquests programes. Això permet que el codi i les dades es puguin compartir a partir de mòduls. Algunes biblioteques poden ser programes independents alhora i ser executats però la majoria de les biblioteques no són executables.

A dins de la realitat augmentada hi ha unes biblioteques gratuïtes per a crear aplicacions de realitat augmentada. Aquestes biblioteques són molt esteses en el món de la realitat augmentada degut a la dificultat d'escriure directament el codi de l'aplicació sense ajuda. Aquestes biblioteques són:

- **ARToolkit** que funciona amb els llenguatges de programació C i C++

- **FLARToolKit** que és l'*ARToolKit* però passada al llenguatge de programació *Action Script* i per tant per al món de les webs.
- **NyARToolkit** que és *FLARToolKit* però per al llenguatge de programació *java* i per tant per dispositius mòbils.

N'hi ha moltes d'altres que estan estretament relacionades amb aquestes. La majoria d'aquestes biblioteques n'utilitzen d'altres de gràfiques per a processar les dades com *Open GL*. La biblioteca utilitzada per a l'aplicació d'aquest treball és *FLARToolKIT*.

6.2.4 Flash i Action Script

Action Script és un llenguatge de programació desenvolupat per a *Macromedia Inc.* És un llenguatge interpretat i el llenguatge intèrpret és el conegut *Adobe Flash Player*. Normalment és usat o per el desenvolupament de pàgines web o per el desenvolupament d'aplicacions que s'incrusten en pàgines web en forma d'arxius SWF, com és el cas de l'aplicació d'aquest treball.

6.3 Descripció de l'aplicació

La descripció de l'aplicació es realitza de la mateixa manera que es fa amb les fitxes tècniques d'apartats anteriors però de manera redactada.

L'aplicació és per plataformes web. *FLARToolKit* és una biblioteca de programació en *Action Script* i per tant, les aplicacions estan dirigides a plataformes web. No està comercialitzada ni té un nom específic i de fet es pot trobar lliure i gratuïta a Internet. Tampoc té un logotip i està pensada per a dispositius fixes entenent com a fixes que disposen d'un sistema operatiu que no està dissenyat per a mòbils, tauletes o altres dispositius semblants sinó per a ordinadors de sobretaula, *netbooks* o portàtils. El programa augmenta uns models tridimensionals determinats a l'entorn de l'usuari.

El dispositiu de captura utilitzat és qualsevol càmera web o càmera perifèrica que utilitzi l'usuari. El mètode d'identificació és amb marcadors. Cada marcador correspon a un model tridimensional diferent en un apartat diferent de l'aplicació. La velocitat de processament depèn de la capacitat de processament de l'ordinador de l'usuari però en la majoria de computadors hauria de funcionar correctament. El mètode de visualització és de baix cost i és el visualitzador espacial.

6.4 Disseny

Aquest apartat de disseny és bàsic. La realitat augmentada treballa amb dades de caràcter visual com marcadors, models tridimensionals i imatges de la càmera. Aquests marcadors han de ser dissenyats específicament tenint en compte el programa i el millor tipus de marcador però també tenint en compte les característiques externes de l'aplicació que faran que aquesta es vegi més bé. Igualment passa amb els models tridimensionals, s'han de dissenyar complint una sèrie d'especificacions perquè funcionin bé al programa però també han de ser atractius de manera externa i visual.

També cal tenir en compte que qualsevol tipus d'aplicació, no només de realitat augmentada, es fa més manejable i intuïtiva si té un disseny òptim.

En aquest apartat doncs, s'analitza el disseny de l'aplicació i es posa de manifest el procés de creació de marcadors, models tridimensionals i una interfície per a l'aplicació.

6.4.1 Disseny dels marcadors

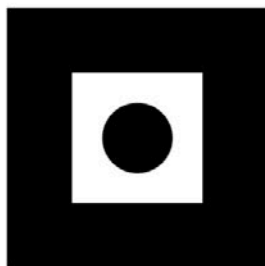
Els diferents marcadors utilitzats per a l'aplicació de realitat augmentada han estat dissenyats d'un en un per a satisfer les necessitats de l'aplicació. Els marcadors es troben a l'annex 4 : Material de l'aplicació. Hi ha models diversos però tots havien de complir unes especificacions i per això primer s'ha creat un patró per a fer tots els marcadors

6.4.1.1 Patró de marcadors

La llibreria *FLARToolKit* té unes especificacions pel que fa el marcador. Pel que fa les dimensions n'hi ha unes, pel que fa el disseny n'hi ha unes altres i pel que fa el material també. Així doncs a partir d'aquestes especificacions s'ha dissenyat un patró per a tots els marcadors per a poder-los dissenyar correctament. El patró es troba a l'annex 4 a l'apartat "1.1.1 Patró de marcadors".

Així doncs a la imatge es pot veure com el patró està format per tres quadrats, un de blanc gran i extern, un de negre intern a ell i un de blanc intern al negre. El quadrat blanc més intern representa la superfície màxima del dibuix del marcador. Aquesta superfície és la meitat de la del quadrat negre. Aquesta superfície es pot dividir en quadrats més petits i crear el patró. L'últim quadrat, el blanc més extern, té un 20% més de superfície que el negre. Aquest quadrat és opcional però l'espai blanc és el mínim necessari, pot ser més gran, en el treball s'ha deixat limitat per si es vol retallar el marcador.

El marcador no pot ser brillant i tampoc pot crear ambigüitats ja que el programa no podria determinar bé el marcador.



Imatge 6.1 Aquesta imatge mostra un marcador que no seria correcte ja que mostra ambigüitats a l'hora de determinar la seva orientació.

6.4.1.2 Marcador “coet”

Aquest marcador es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.1.2 Marcador “coet”. Ha estat dissenyat en funció del model tridimensional de l'aplicació “multi marcador” on surt la terra i els estels. La necessitat és d'algun element relacionat amb l'espai i s'ha definit un marcador d'un coet. El dibuix està fet amb un programa de gràfics vectorials i després adjuntat al patró per adaptar a les dimensions.

6.4.1.3 Marcador “vaca”

Aquest marcador es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.1.3 marcador “vaca”. Ha estat dissenyat en funció del model tridimensional de l'aplicació “multimarcador” que consisteix en una vaca. El model està en forma de dibuix i no pas en forma de silueta de vaca real ja que transmet una sensació més divertida d'aquesta manera. El dibuix està fet amb un programa de gràfics vectorials i després adjuntat al patró per adaptar a les dimensions.

6.4.1.4 Marcador “cub 1”

Aquest marcador es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.1.4 Marcador “cub 1”. Ha estat dissenyat en funció del model tridimensional de l'aplicació “multimarcador” i que consisteix en un cub simple. El seu disseny s'ha fet en forma de quadrats per donar sensació d'estabilitat com la que dona el cub. S'ha dividit la superfície mínima en setze quadrats i alguns s'han deixat blancs i alguns s'han pintat negres.

6.4.1.5 Marcador “cub 2”

Aquest marcador es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.1.5 Marcador “cub 2”. Ha estat dissenyat en funció del model tridimensional de l'aplicació “multimarcador” i que consisteix en un cub simple. El seu disseny s'ha fet en forma de quadrats per donar sensació d'estabilitat com la que dona el cub. S'ha dividit la superfície mínima en 64 quadrats i alguns s'han deixat blancs i alguns s'han pintat negres.

6.4.1.6 Marcador “Escorial”

Aquest marcador es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.1.6 Marcador “Escorial”. Ha estat dissenyat en funció del model tridimensional de l'aplicació “Escorial” que consisteix en un mapa de l'escola Escorial de Vic. El marcador consisteix en la silueta del model tridimensional vist des de dalt, és a dir, en planta. El dibuix ha estat fet amb un programa de gràfics vectorials i després adjuntat al patró per adaptar a les dimensions.

6.4.1.7 Marcador “Lluc”

Aquest marcador es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.1.7 Marcador “Lluc”. Ha estat dissenyat en funció del model tridimensional de l'aplicació “Lluc” que consisteix en unes lletres que representen la paraula “Lluc”. El marcador consisteix en el text “Lluc”

6.4.1.8 Marcador “helicòpter”

Aquest marcador es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.1.8 Marcador “helicòpter”. Ha estat dissenyat en funció del model tridimensional de l'aplicació “helicòpter”, que consisteix en un helicòpter. El marcador consisteix en un dibuix de la silueta d'un helicòpter. Ha estat dibuixada amb un programa de gràfics vectorials i després adjuntada al patró.

6.4.1.9 Marcador “orca”

Aquest marcador es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.1.9 Marcador “orca”. Ha estat dissenyat en funció del model tridimensional de l'aplicació “orca”, que consisteix en una orca. El marcador és un dibuix d'una orca. Ha estat dibuixat amb un programa de gràfics vectorials i després adjuntada al patró.

6.4.2 Disseny dels models tridimensionals

En aquest apartat es pot veure com s'han dissenyat els diferents models tridimensionals utilitzats en l'aplicació o bé veure quin és el seu disseny ja que alguns són models extrets d'Internet.

Per al processament la biblioteca *FLARToolKit* utilitza arxius en format DAE. El format DAE és el format que s'utilitza per a exportar models tridimensionals. Aquests arxius han d'estar triangulats obligatòriament, és a dir, han de estar compostos per molts triangles. Aquesta és l'única manera de que la biblioteca gràfica *Papervision*, que utilitza el programa, pugui llegir models tridimensionals i representar-los correctament.

6.4.2.1 Model “Escorial”

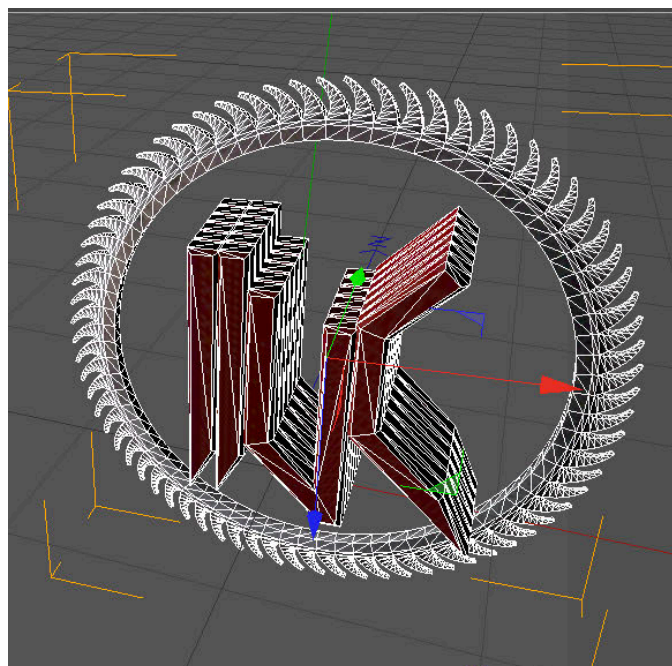
Aquest model es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.2.1 model “Escorial”. Consisteix en una representació del plànol de l'escola Escorial de Vic. Ha estat dissenyat amb el programa Google Sketchup, un programa senzill per a crear models en tres dimensions. El disseny no és només per a aquest projecte sinó que va ser dissenyat també per a un altre projecte de l'any 2010. Tot i així ha estat preparat per a poder ser processat a l'aplicació de realitat augmentada. Per a ser preparat s'ha hagut d'exportar en un format d'un altre programa d'edició en 3D ja que Google Sketchup no és capaç de triangular. Un cop triangulat ja s'ha pogut exportar al format DAE per a poder ser processat a l'aplicació.

6.4.2.2 Model “Helicòpter”

Aquest model es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.2.2 Model “helicòpter”. Consisteix en una representació d'un model d'helicòpter. Ha estat descarregat d'una pàgina web que permet descarregar models dissenyats per a persones expertes gratuïtament. El seu disseny ja és una xarxa poligonal triangulada i per tant es pot importar directament ,sense haver-la de modificar, a l'aplicació. El disseny també està constituït d'una textura que li dona color al model.

6.4.2.3 Model “Lluc”

Aquest model es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.2.3 Model “Lluc”. Consisteix en un text tridimensional i amb textura envoltat d'un cercle amb textura metàl·lica. Aquest model ha estat dissenyat amb el programa *Maxon Cinema 4D*. Per al seu procés primer s'ha creat un text a partir de corbes *NURBS*. Després se'ls hi ha afegit profunditat. Seguidament s'ha agafat la figura d'un tub i s'ha fet molt poc alt s'ha ajustat el radi i s'ha creat el cercle i s'ha modificat amb una eina del programa per apoder crear les dents. Posteriorment s'ha creat un material i unes textures que s'han afegit al text i al cercle. Finalment s'ha triangulat el model per a poder ser importat al programa en format DAE.



Imatge 6.2 Aquesta imatge mostra com el model està triangulat o constituït per triangles.

6.4.2.4 Model “orca”

Aquest model es troba a l’annex 4 a l’apartat 1.2.4 Model “orca”. Consisteix en una representació d’una orca. Ha estat descarregat d’una pàgina web que permet descarregar models dissenyats per persones expertes gratuïtament. El seu disseny ja és una xarxa poligonal triangulada i per tant es pot importar directament ,sense haver-la de modificar, a l’aplicació. El disseny també està constituït d’una textura que li dona color al model.

6.5 Interfície de l’aplicació

L’aplicació té una interfície gràfica¹ que permet la comunicació entre les diferents parts del programa. Aquesta interfície es pot dividir en el mapa HTML i Fons de pantalla.

6.5.1 Mapa HTML

La foto del mapa es pot trobar a l’annex 4 a l’apartat 1.1.3 Mapa HTML. Un mapa HTML és una imatge que les seves parts funcionen com a enllaç a altres pàgines. En aquest cas el disseny d’aquest mapa està organitzat en sis apartats. Els cinc primers són enllaços a diferents parts del programa i l’últim és un enllaç al PDF d’impressió dels marcadors.

¹ Una interfície gràfica d’usuari o GUI és aquell sistema de comunicació entre l’usuari i la computadora que utilitza elements gràfics. És a dir aquell sistema per el qual es donen ordres a l’ordinador i ell respon.

S'ha dissenyat d'aquesta manera tant visual perquè al cap i a la fi la realitat augmentada és una tecnologia visual que es basa en la imatge i aquest disseny és senzill i molt gràfic.

6.5.2 Fons de pantalla

Simplement cal dir que per visualitzar el programa en un enllaç apart és recomanable un fons de pantalla ja que sinó el fons és blanc i trenca amb el disseny de l'aplicació en general. El fons de pantalla es troba a l'annex 4 a l'apartat 1.1.4 Fons de pantalla. Està format per imatges de marcadors.

6.6 Programació

El codi font és el cor d'una aplicació ja que és el que comunica totes les ordres a l'ordinador i regula el funcionament en general. La programació és molt difícil degut a la seva sintaxis i a que requereix coneixements de matemàtiques i una experiència. És per això que no es pot explicar a fons cada línia del codi de programació d'aquesta aplicació. No obstant això, es pot explicar el funcionament d'alguna de les funcions i de l'estructura general de l'aplicació sense endinsar-se gaire en la programació.

El codi del programa es pot estructurar en el codi de la part que reconeix múltiples marcadors i la part que només en reconeix un. El codi íntegre es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.1.10 i a l'apartat 2.2.6.

6.6.1 Anàlisi del codi de multi marcador

La part de l'aplicació que és capaç de reconèixer més d'un marcador és la més complexa pel que fa la programació ja que ha d'identificar diferents marcadors i carregar diferents models. Aquesta part és capaç d'identificar fins a quatre marcadors. En general es pot dir que segueix l'estructura base de qualsevol aplicació que identifica un marcador però en aquest cas en pot identificar fins a quatre i per tant l'estructura és una mica diferent.

6.6.1.1 Importació de biblioteques i altres elements

El codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.1.1 Importació de biblioteques i altres elements.

Aquest fragment del programa mostra, tal i com diu el títol, l'importació de diferents biblioteques i elements necessaris per el programa. Ho fa per mitja de la funció "import". Importa biblioteques gràfiques com *papervision*, *greensock*... També importa altres codis del mateix programa com "FLARMarkerObj" o "FLARDetectorEvent".

6.6.1.2 Creació de classes privades

El codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.1.2 Classes privades.

Aquest fragment de codi mostra com es creen unes variables que funcionaran durant tot el codi. Aquestes són entre d'altres “_cubes”, “cow”..

6.6.1.3 Importació dels marcadors

El codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.1.3 Importació de marcadors.

És un fragment de codi on es mostra com els diferents marcadors són importats al programa. Les lletres blaves mostren on està guardat el marcador que és l'arxiu que té l'extensió .pat. Els marcadors es guarden en aquest format.

6.6.1.4 Detecció de marcadors

El codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.1.4 Detecció de marcadors.

Aquesta funció és la que detecta els marcadors i és la més complicada de tot el codi ja que la seva estructura és complicada i ha d'anar fent temptatives per a veure si ha trobat el marcador. Entre d'altres coses al codi es pot veure que es fan referència a elements d'altres arxius de codi importats com “getTransmationMatrix”, “_handleMarkerAdded”, “_handleMarkerRemove”...

També es pot veure que hi ha algun bucle, és a dir, una part que es va repetint durant l'execució de l'aplicació. Un exemple és “for (var i : int =0;)” això és una part del bucle.

6.6.1.5 Configurar els models tridimensionals en general

El codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.1.5 Configurar els models tridimensionals en general.

El fragment de codi que es pot veure és també una funció. Aquesta funció és la que configura quan han d'aparèixer els models tridimensionals. Hi ha un condicional amb la forma “if” que depèn del marcador que hi hagi retorna un valor o un altre. Aquest valor serà llegit per una altra funció i aquesta processarà el model tridimensional. Així doncs aquesta funció és el fonament de l'aplicació de marcadors múltiples ja que és un sistema per a poder mostrar un model diferent a cada marcador.

6.6.1.6 Configurar els materials

El codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.1.6 Configurar els materials.

El fragment d'aquest codi configura els materials per a afegir als models tridimensionals. Es pot veure com crea varies variables que contenen l'informació dels materials com “var fmat2”, “var fmat3”, “var Top”... Aquestes variables poden referir-se a un material de color o a un material de

mapa de bits, és a dir, una imatge. Els mapes de bits són importats i per això es veuen els materials com “top.png” o “map.jpg” que són les textures que s’importen.

6.6.1.7 Processament del model “Terra”

El codi es troba a l’annex 4 a l’apartat 2.1.7 Processament del model “Terra”.

Aquest fragment mostra com es processa el model Terra, amb la caixa, el forat, les estrelles... Primer es crea un cub que fa de forat. Després es crea una esfera i s’assigna un material que és el mapa de la terra. Després s’anima la terra perquè al cap d’uns segons s’ampliï. També es creen les estrelles i s’animen una per una. Les estrelles són totes aquestes variables del tipus “var star1”, “var star2”... Llavors es creen les capes de les tapes que s’obren que són les variables “var right”, “var left”, “var top” i “var bottom”.

6.6.1.8 Processament del model “vaca”

El codi es troba a l’annex 4 a l’apartat 2.1.8 Processament del model “vaca”.

En aquest codi s’importa el model “vaca” i es processa. Per això es fan servir les variables privades definides anteriorment per a poder importar l’arxiu DAE al codi, importar la textura de la pell i configurar el material. També se’n ajusta la mida i l’escala. Cal dir que es pot veure el condicional “else if” que abans havia definit la funció de configurar els models. Així doncs el valor que havia de tornar aquella funció per a processar la vaca és l’1, el de la terra el 0 i el dels cubs el 3 i el 4 respectivament.

6.6.1.9 Processament dels cubs

El codi es troba a l’annex 4 a l’apartat 2.1.9 Processament dels cubs.

El fragment d’aquest codi mostra com es creen els cubs 3 i 4 a partir de formes primitives de la biblioteca gràfica *Papervision*.

6.6.2 Anàlisi del codi d’un sol marcador

En general es pot dir que aquest codi és molt més senzill que l’anterior. El codi es pot considerar una aplicació base de realitat augmentada amb marcadors ja que identifica un marcador i hi augmenta un objecte tridimensional. No obstant això, no és l’aplicació de realitat augmentada amb marcadors més elemental ja que la més elemental és la que identifica el marcador i el substitueix per models tridimensionals que no són DAE i per tant són pertanyents a llibreries gràfiques. Models com cubs, esferes, primes, etc.

6.6.2.1 Importació de biblioteques i altres elements

Aquest codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.2.1 Importació de biblioteques i altres elements.

El fragment de codi de l'annex mostra com el programa importa biblioteques i altres elements. En aquest cas la llista és molt més curta, reduïda a dos importacions. S'importa , com al codi anterior, la biblioteca gràfica *Papervision*.

6.6.2.2 Definició de variables privades

Aquest codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.2.2 Definició de variables privades.

En aquest cas l'única classe que es manté durant tot el codi és la variable “_escorial” és a dir, conté informació del model tridimensional.

6.6.2.3 Funció reconeixement del marcador

Aquest codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.2.3 Funció reconeixement del marcador.

Aquesta funció és la que identifica el marcador i per tant és aquella que era tant extensa. En aquest cas no és extensa ja que l'afegeix d'un arxiu extern a aquest arxiu principal. Aquí també carrega els paràmetres de la càmera i el marcador en format “dat” i “pat” respectivament.

6.6.2.4 Funció de processament del model tridimensional

Aquest codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.2.4 Funció que afegeix el model tridimensional.

Aquest fragment mostra la funció que carrega el model tridimensional. A la variable “_escorial” se li assigna el valor d'objecte DAE i amb els paràmetres “(true, null, true)” s'especifica que si el model és una animació aquesta s'ha de reproduir de forma repetitiva. Es defineixen també la rotació i l'escala.

6.6.2.5 Funció gir

Aquest codi es troba a l'annex 4 a l'apartat 2.2.5 Funció gir.

Aquest últim fragment de codi és una funció que especifica que el model tridimensional ha de girar entorn l'eix z. En aquest cas el paràmetre és 0 per tant el model tridimensional no giraria.

7 Conclusions

Al principi del treball es van presentar una sèrie d'objectius a assolir.

Un dels objectius que es plantejaven al principi era el de poder conèixer tot allò que envolta a la realitat augmentada. Aquest objectiu ha estat assolit perquè en aquest treball s'ha estat buscant informació sobre tots aquests temes que envolten a la realitat augmentada. S'han explicat les fases que són allò fonamental i s'han especificat totes les disciplines i coneixements que envolten aquesta tecnologia. Durant l'anàlisi de les fases de la realitat augmentada s'han donat a conèixer moltes disciplines i coneixements d'aquest tipus. S'ha posat de manifest el món que envolta les càmeres i els seus sensors, també com els programes busquen els marcadors per identificar l'escena, s'ha vist que l'identificació es pot fer sense marcadors amb les tècniques de visió artificial, també s'ha vist el mètode per visualitzar figures tridimensionals en un pla i s'ha vist el GPU i el processament gràfic.

A partir d'aquí es poden destacar uns factors importants. Primer de tot que per a investigar en l'àmbit de la realitat augmentada calen coneixements de reconeixement d'imatges. La investigació en la realitat augmentada es troba en aquest àmbit. Objectius com millorar la identificació de marcadors, identificar una escena sense marcadors eficientment o poder reconèixer tots els elements de qualsevol escena es poden treballar des d'aquest àmbit i és aquí on s'investiga i s'ha d'investigar. Tot i així també es pot investigar en els sistemes de visualització per a millorar-los i fer-los més portables i també en la computació per a millorar els processadors i els equips per a fer-los més petits i eficients però tots aquests àmbits no són exclusius de la realitat augmentada però si relacionats. També es pot extreure la conclusió que la realitat augmentada involucra disciplines com l'òptica, la informàtica el disseny i l'electrònica. L'òptica té un paper important en els sistemes de visualització sobretot en aquells que es basen en la projecció tridimensional o en els sistemes que s'instal·len a molta proximitat de la cara com ulleres o cascos. La informàtica i té un paper fonamental en tots els sentits però bàsicament la realitat augmentada s'expressa amb forma de programes informàtics. El disseny també té importància en la realitat augmentada ja que s'han de dissenyar models tridimensionals o en alguns casos marcadors de realitat augmentada. L'electrònica també s'involucra perquè els sistemes de realitat augmentada es componen de molts dispositius electrònics com ordinadors, càmeres, visualitzadors o pantalles entre d'altres. Finalment també es pot destacar un element que és limitant per a la realitat augmentada: la velocitat i la capacitat de processament. Totes les operacions que ha de fer la realitat augmentada tenen un alt cost computacional. Aquestes operacions són les de identificació, sobretot sense

marcadors i les del processament de gràfics i models tridimensionals. Degut a que la realitat augmentada es fa fotograma per fotograma el procés d'identificació ha de ser molt ràpid i el de processament de gràfics també perquè sinó no es pot aconseguir una imatge a temps real. A aquest fet s'hi ha de sumar que si es volen aconseguir resultats gràfics molt realistes cal també una bona capacitat de processament per part de l'ordinador. Així doncs es necessiten processadors i unitats de processament molt ràpides i potents.

Un altre objectiu era el de poder analitzar experimentalment alguns paràmetres de la realitat augmentada. En aquest treball s'han treballat les condicions de llum per a l'identificació de marcadors. S'havia formulat l'hipòtesi que la llum era un factor limitant a l'hora d'identificar el marcador. Aquesta experiència a portat a unes conclusions.

Un d'ells és que el material més adequat per imprimir els marcadors és la cartolina ja que és la que més cops s'ha identificat correctament en tots els tipus de llum. El tipus de llum on més bé s'han carregat els marcadors ha estat l'exterior. El que afecta més a l'identificació del marcador és l'excés de llum i no pas la de foscor ja que en molts casos s'identificava malament el marcador per reflexes provocats per un excés de llum mentre que en entorns foscos la identificació ha estat força positiva. Per tant l'hipòtesi formulada era certa, així doncs en tot sistema de realitat augmentada cal pensar quines condicions del llum hi haurà. Tot i així no resulta un problema que no es pugui solucionar, hi ha moltes maneres de no provocar reflexes o de compensar els efectes de la llum a través de programes informàtics.

Pel que fa l'experiment del gir dels marcadors, al girar un marcador es perden dades en el sentit que cada cop és més difícil reconèixer el marcador. La taula amb els marcadors simula la matriu que el programa rep i processa un cop ha binaritzat l'escena. L'experiment consistia en assignar 1 a les caselles que fossin negres i 0 a les blanques i així simular la feina del programa. Així doncs, al girar el marcador fins a un cert punt fa que es perdi informació i no es pot identificar bé l'escena. Aquest punt és quan ja gairebé no es pot veure la forma del patró i no hi ha manera de saber quin és.

També s'havia generat el dubte de com el programa identifica que el marcador està en una posició o en una altra. Les conclusions són que ho fa mitjançant les mesures del marcadors. En un gir sobre un eix hi ha mides que es mantenen paral·leles i es mantenen en veritable magnitud. També per l'angle que formen els seus costats. Per saber a quina distància es troba utilitza la mesura. Com més a prop està més grans detecta els costats i quan està lluny els detecta més petits.

L'altre objectiu era analitzar aplicacions ja existents de realitat augmentada. Això s'ha pogut complir a l'apartat de l'anàlisi d'aplicacions a partir de les fitxes tècniques de les quals se'n poden extreure algunes conclusions. Una d'elles és que l'increment dels dispositius mòbils avançats ha fet que moltes aplicacions de realitat augmentada no utilitzin marcadors sinó que utilitzin identificació per GPS. El fet que el posicionament geogràfic no tingui un cost computacional gaire alt fa que la majoria d'aplicacions que són per mòbil funcionin amb aquesta tecnologia. Els sistemes de visualització van lligats a tot això. Si les aplicacions són preparades per a mòbils en la seva majoria llavors el sistema de visualització per excel·lència és el visualitzador de mà. També es pot observar molt sovint que algunes aplicacions ja no utilitzen cap tipus d'identificació. Això fa que algunes aplicacions no tinguin cap cost computacional procedent de la identificació però sí del processament de models tridimensionals. Això les fa més senzilles però no tenen tanta qualitat ni utilitat. La majoria de aplicacions són per Android i per a iOS i això es deu a que tenen sistemes de processament més avançats i són més aptes tan en programari com els seus terminals en maquinari per a la implementació de sistemes de realitat augmentada. El fet de que s'utilitzin dispositius mòbils és la seva portabilitat tot i que el fet comentat anteriorment de la limitació per culpa del cost computacional fa que les aplicacions de realitat augmentada per a mòbil no siguin tant potents com les que s'implementen en ordinadors personals o en equips especialitzats. Tot i això la portabilitat és una característica molt desitjada. Moltes de les funcions d'aquestes aplicacions no tindrien cap sentit si el sistema no fos portable. Funcions com la navegació no són possibles sense un sistema portàtil.

També s'ha pogut extreure una conclusió més en aquest anàlisi d'aplicacions. Aquest és que la realitat augmentada es pot combinar amb la intel·ligència artificial. A la aplicació *eyepet* es pot veure com un personatge virtual és augmentat en entorn real i té característiques de intel·ligència artificial que li fan respondre a diferents estímols amb una resposta.

L'últim objectiu i el més important és elaborar l'aplicació de realitat augmentada amb FLARToolKit. Aquest objectiu també s'ha assolit amb èxit. L'aplicació funciona i aplicant els coneixements apresos s'ha pogut comparar el codi de la pàgina amb algunes parts del treball. L'aplicació posa de manifest la complexitat de les fases anunciades al treball. L'identificació de un marcador ja és complicada i en el codi ve determinada per una funció que ja està escrita en la biblioteca FLARToolKit perquè escriure el codi que identifiqui un patró està fora de l'abast dels límits d'aquest treball. En el codi on els patrons a identificar són múltiples la complexitat de l'aplicació també creix i el codi és més complex. També es pot veure el codi que s'utilitza per a programar el GPU ja que s'ha treballat amb la biblioteca gràfica *papervision* que fa executar diverses ordres al

sistema de processament gràfic ja que el programa carrega formes primitives com cubs. En l'aplicació també queda demostrat que les condicions de llum són un factor limitant per a la realitat augmentada ja que es pot veure com els marcadors no s'identifiquen en algunes situacions determinades on la llum no és favorable i també es veu que al girar en algun moment les dades es perden. També elaborant l'aplicació s'han extret algunes conclusions. Una d'elles és que la programació de qualsevol aplicació té una complexitat important. S'ha de pensar en quins dispositius s'implementarà, a quin públic anirà dirigit o quina funció fa i a partir d'aquí pensar com funcionarà el codi. Després es pot veure que qualsevol petit error al codi fa que el programa no funcioni. També s'ha pogut arribar a la conclusió que l'estructura de les aplicacions de realitat augmentada es basa en els bucles o cicles ja que es repeteix molt una mateixa estructura que s'aplica a cada fotograma.

També es pot fer una predicció de futur sobre la realitat augmentada. Es pot dir que la realitat augmentada en aquest moment està en desenvolupament ja que no se'n troba molt sovint ni per tot arreu però està començant a sorgir. La tecnologia actual no permet fer moltes coses que es podrien fer més endavant. Hi ha una sèrie de factors que són claus a l'hora del desenvolupament del futur de la realitat augmentada.

Primer de tot el reconeixement d'imatges. El reconeixement d'imatges pot arribar a millorar en un futur en dos sentits. En primer lloc allò que seria ideal en la realitat augmentada és una identificació completa de l'escena sense que el sistema tingui cap referència d'aquesta, és a dir, sense marcadors. Això faria possible l'utilització de qualsevol tipus d'escena per a la realitat augmentada. És d'allò més complicat ja que s'han d'identificar cadascun dels objectes que hi ha a l'escena, el terra o l'entorn i per als ordinadors això és molt difícil. Això que de vegades sembla tan fàcil per a un ésser humà de situar i identificar una escena és molt complex a un ordinador. En segon lloc el reconeixement d'imatges podria ajudar en un futur en el sentit que es podrien arribar a col·locar els objectes tridimensionals amb precisió i exactitud. Actualment els objectes virtuals són molt difícils de col·locar, sobretot sense marcadors. Com a conseqüència directa d'una identificació de l'escena completa es podria col·locar virtual correctament a qualsevol lloc de l'escena.

En segon lloc podem parlar dels sistemes de visualització. Els sistemes de visualització actuals de realitat augmentada no són suficientment potents com per evadir a l'usuari de que està utilitzant aquesta tecnologia. Si els sistemes de visualització segueixen evolucionant pot ser que algun dia la línia entre la realitat i la virtualitat no sigui gairebé apreciable. Això podria fer-se factible a través de la millora d'aquests sistemes que es duen a sobre. Hi ha per exemple el HMD que és molt

immersiu però és gran i poc portable. També ara s'estan començant a fer sistemes molt lleugers i discrets que es porten en forma d'ulleres i que es basen o bé en la projecció directa als ulls , com és el cas de *Google Glasses*, o en les pantalles semitransparents. Això fins i tot podria arribar a evolucionar en sistemes molt immersius i molt lleugers com podrien arribar a ser les lentilles. També hi ha una altra vessant dels sistemes de visualització i és l'espacial. Enlloc d'objectes que s'hagin de portar a sobre i cobrir-te la visió, potser en un futur i podrà haver realitat augmentada basada en projeccions tridimensionals tal i com si fos una pel·lícula de ciència ficció.

Finalment exposar que aquest treball és un punt de partida per qui vulgui aprofundir més en la realitat augmentada. El treball en sí només posa unes bases ja que aquesta tecnologia té moltes branques i totes molt frondoses. És un punt de partida per a qualsevol persona que tingui els coneixements de programació necessaris per a poder dissenyar un projecte de realitat augmentada i no sàpiga per on començar o per aquella persona que simplement vol conèixer en què consisteix aquesta tecnologia en ple desenvolupament.

8 Bibliografia

1. AMLACHER K. , L. PALETTA,(2008) *Geo-Indexed Object Recognition for Mobile Vision Tasks*
2. BIMBER OLIVER, (2005) *Spatial augmented reality* Wellesley: A K Peters.
3. CAWOOD S. ; FIALA M., (2008) *Augmented Reality: A practical guide*
4. JAVIDI B. , (2002) *Image Recognition and Classification. Algorithms, Systems and Applications*
5. LLABOT MERCÈ; MESTRES JORDI; VILLANUEVA LLUÍS (2002) *Dibuix Tècnic 1* Barcanova

8.1 Webgrafia

1. *Action Script 2.0*. Aula Virtual de Formación Continua [en línia] Disponible a internet < <http://www.auladirectiva.com/curso/actionscript-2.0/demostracion-de-curso/content/content2.html> >
2. *Action Script*. SearcSOA. [en línia] Disponible a internet < <http://searchsoa.techtarget.com/definition/ActionScript> >
3. *Action Script*. Wikipedia [en línia] Disponible a internet < <http://en.wikipedia.org/wiki/ActionScript> >
4. *ActionScript 3.0 Reference for the Adobe Flash Platform*. Adobe [en línia] Disponible a internet < http://help.adobe.com/en_US/FlashPlatform/reference/actionscript/3/index.html >
5. ALBA, José Luis. CID, Jesús. *Reconocimiento de Patrones*. Universidad de Vigo [en línia] Disponible a internet < <http://www.gts.tsc.uvigo.es/pi/Reconocimiento.pdf> >
6. *Algorisme*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < <http://ca.wikipedia.org/wiki/Algorisme> >

7. ALLIBAN, James. *An introduction to augmented reality in flash*. Augmatic [en línia] Disponible a internet < http://augmatic.co.uk/blogContent/presentations/LFPUG_presentation.pdf>
8. AZUMA, Ronald T. *A survey of augmented reality*. University of North Carolina [en línia] Disponible a internet < <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf> >
9. AZUMA, Ronald. Ronald Azuma Page [en línia] Disponible a internet < <http://www.ronaldazuma.com/>>
10. CLIMENT, Joan. *Resum de mètodes per a la binarització d'imatges*. Facultat d'Informàtica de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya [en línia] Disponible a internet < <http://www-pagines.fib.upc.es/~vc/binaritzacio.pdf> >
11. *Codi Binari*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < http://ca.wikipedia.org/wiki/Codi_binari >
12. *Codi Font*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < http://ca.wikipedia.org/wiki/Codi_font >
13. *Curvas y Superficies. Superficies de Revolución*. Universidad de Cantabria [en línia] Disponible a internet < <http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/expresion-grafica-y-dao/material-de-clase-2/T6CurSupEsfPol.pdf> >
14. *Difracció*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < <http://ca.wikipedia.org/wiki/Difracci%C3%B3> >
15. *Filtre Mosaic de Bayer*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < http://ca.wikipedia.org/wiki/Filtre_mosaic_de_Bayer >
16. *Flash Player Developer Center*. Adobe. [en línia] Disponible a internet < <http://www.adobe.com/devnet/flashplayer.html> >
17. *Fotodíode*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < <http://ca.wikipedia.org/wiki/Fotod%C3%ADode> >

18. *Fundamentals of Digital Image Processing*. The Hong Kong Polytechnic University [en línea] Disponible a internet < <http://www.eie.polyu.edu.hk/~enyhchan/imagef.pdf> >
19. GARCÍA, Roberto. *Sistema de Odometría Visual para la Mejora del Posicionamiento Global de un Vehículo*. Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicación [en línea] Disponible a internet < http://coit.es/pub/ficheros/presumen_infoglobal_97ec2ace.pdf >
20. HARRIS, Tom. *How Camcoders Work*. How stuff Works? [en línea] Disponible a internet < <http://electronics.howstuffworks.com/camcorder1.htm> >
21. *Heurística (informática)*. Wiquipedia [en línea] Disponible a internet < [http://es.wikipedia.org/wiki/Heur%C3%ADstica_\(inform%C3%A1tica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Heur%C3%ADstica_(inform%C3%A1tica)) >
22. *Histèresi*. Viquipèdia [en línea] Disponible a internet < <http://ca.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%A8resi> >
23. *Introducción a OPEN GL*. División de Arquitectura de computadores (universidad Rey Juan Carlos) [en línea] Disponible a internet < <http://dac.escet.urjc.es/docencia/GV3D/DocGL1.pdf> >
24. IWAMOTO, Takayuki. TATEZONO, Mari. SHINODA, Hiroyuki. *Non-Contact Method for Producing Tactile Sensation Using Airborne Ultrasound*. The University of Tokyo [en línea] Disponible a internet < <http://www.alab.t.u-tokyo.ac.jp/~siggraph/09/TouchableHolography/EuroHaptics08.pdf> >
25. JORDÀ, Sergi. *Realidad aumentada*. Scribd [en línea] Disponible a internet < <http://es.scribd.com/doc/113655383/Realidad-Aumentada> >
26. *La holografía*. Biblioteca digital [en línea] Disponible a internet < http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/084/htm/sec_8.htm >
27. LAKDAWALLA, Emily. *Neat video of curiosity drive testing*. The planetary society [en línea] Disponible a internet < <http://www.planetary.org/blogs/emily-lakdawalla/2011/2967.html> >

28. LASSO, Iván. *La interfaz gráfica de usuario (GUI)*. Proyecto autodidacta [en línia] Disponible a internet < <http://www.proyectoautodidacta.com/comics/la-interfaz-grfica-de-usuario-gui/>>
29. *Llenguatge de programació*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < http://ca.wikipedia.org/wiki/Llenguatge_de_programaci%C3%B3
30. *Llenguatge Interpretat*. Wikilingua [en línia] Disponible a internet < http://www.wikilingua.net/ca/articles/l/e/n/Lenguaje_interpretado.html >
31. *Llibreria informàtica*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < http://ca.wikipedia.org/wiki/Llibreria_inform%C3%A0tica >
32. LÓPEZ, Héctor. *Análisis y desarrollo de Sistemas de Realidad Aumentada*. Universidad Complutense Madrid [en línia] Disponible a internet < http://eprints.ucm.es/11425/1/memoria_final_03_09_10.pdf >
33. *Mars Science Laboratory/Curiosity*. National Aeronautics and Space Administration [en línia] Disponible a internet < http://www.jpl.nasa.gov/news/fact_sheets/mars-science-laboratory.pdf >
34. *Papervision 3D* [en línia] Disponible a internet < <http://code.google.com/p/papervision3d/>>
35. *Programa informàtic*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < http://ca.wikipedia.org/wiki/Programa_inform%C3%A0tic >
36. *Programació*. Universitat Jaume I [en línia] Disponible a internet < http://www.robot.uji.es/docencia/301/mat/teoria/Tema_3.pdf >
37. *Programari*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < <http://ca.wikipedia.org/wiki/Programari> >
38. *Projecció gràfica*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < http://ca.wikipedia.org/wiki/Projecci%C3%B3_gr%C3%A0fica >
39. *Realitat augmentada*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < <http://ca.wikipedia.org/>

wiki/Realitat_augmentada >

40. REID, Jonathan. *Beginner's Guide to Augmented Reality*. Active Tuts [en línia] Disponible a internet < <http://active.tutsplus.com/tutorials/3d/beginners-guide-to-augmented-reality/>>
41. RUIZ, Miguel. *Introducción a ActionScript*. Programación en castellano. [en línia] Disponible a internet < http://www.programacion.com/articulo/introduccion_a_actionscript_103 >
42. *Sensor CCD*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < http://ca.wikipedia.org/wiki/Sensor_CCD >
43. *Sensor CMOS*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < http://ca.wikipedia.org/wiki/Sensor_CMOS >
44. *Servidor*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < <http://ca.wikipedia.org/wiki/Servidor> >
45. *Supercomputador*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < <http://ca.wikipedia.org/wiki/Supercomputador> >
46. *Teoria de conjunts*. Viquipèdia [en línia] Disponible a internet < http://ca.wikipedia.org/wiki/Teoria_de_conjunts >
47. *Vistas en 3D*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria [en línia] Disponible a internet < <http://serdis.dis.ulpgc.es/~ii-fgc/Tema%205%20-%20Vistas%20en%203D.pdf> >
48. ZIEGLER, Urs. GREET, Anna. HOECHLI, Mathias. *Basic Introduction to Image Processing*. University of Zurich [en línia] Disponible a internet < http://www.zmb.uzh.ch/resources/download/image_processing.pdf >

9 Índex d'annexos

Annex 1

Consisteix en un bloc www.realitataugmentadalinks.blogspot.com que conté enllaços d'aplicacions de realitat augmentada.

Annex 2

Consisteix en una carpeta adjuntada junt amb el treball que conté fotos i vídeos de l'experimentació amb els marcadors

Annex 3

Consisteix en un dossier adjuntat junt amb el treball que conté fitxes tècniques.

Annex 4

Consisteix en un dossier adjuntat junt amb el treball que conté el material complementari per a l'explicació del desenvolupament de l'aplicació