



**Escola Superior d'Enginyeries Industrials,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

DETECCIÓ DE PROMINÈNCIA UTILITZANT EL MOVIMENT DE PERSONES AMB VISIÓ ZENITAL

Grau en Enginyeria de Sistemes Audiovisuals

TREBALL FINAL DE GRAU

Ivan Caminal Colell

Juny 2017

Co-director:

Javier Gago Barrio

Directora:

**Montserrat Corbalan
Fuertes**

Resum

La detecció de prominència d'un espai visual és una tasca que tradicionalment ha estat abordada mitjançant l'anàlisi de l'espai amb tècniques de processat d'imatge, aquestes tècniques es basen a estudiar característiques com el color, la intensitat, la forma, l'orientació entre d'altres per acabar generant un mapa d'intensitats on cada punt representa un nivell d'interès. De forma alternativa, en aquest treball es pretén analitzar el moviment de persones dins un espai per tal de detectar la prominència generada per un grup d'objectes.

La primera fase del treball ha consistit a captar vídeos de persones durant una exposició a un espai amb objectes d'interès i extreure informació dels mateixos obtenint diferents conjunts de dades. La segona part, ha estat basada en el desenvolupament i avaluació de mètodes que utilitzen els conjunts de dades anteriors per tal d'estimar el nivell d'interès aportat per cada objecte.

Els resultats obtinguts mostren com un dels mètodes s'acosta força a unes estadístiques realitzades en la primera fase.

Resumen

La detección de prominencia de un espacio visual es una tasca que tradicionalmente ha sido abordada mediante el análisis del espacio con técnicas de procesado de imagen, estas técnicas están basadas en estudiar características como el color, la intensidad, la forma, la orientación entre otras para finalmente generar un mapa de intensidades donde cada punto representa un nivel de interés. De forma alternativa, en este trabajo se pretende analizar el movimiento de personas dentro de un espacio para poder detectar la prominencia generada por un grupo de objetos.

La primera fase del trabajo ha consistido en captar vídeos de personas durante una exposición a un espacio con objetos de interés i extraer información de los mismos obteniendo diferentes conjuntos de datos. La segunda parte, ha sido basada en el desarrollo i evaluación de métodos que utilizan los conjuntos de datos anteriores con el fin de detectar el nivel de interés aportado por cada objeto.

Los resultados obtenidos muestran como uno de los métodos se acerca bastante a unas estadísticas realizadas en la primera fase.

Abstract

The salience detection of a visual space is a task that traditionally has been solved by the analysis of the space with image processing techniques, these techniques are based on the study of specifications like color, intensity, orientation and so on to finally end with the generation of an intensity map where every point represents a level of interest. Alternatively, this project aims to analyze the movement of people in a room with the purpose of detecting the salience generated by a set of objects.

The first phase of the project has consisted of recording people during an exposition in a space with objects of interest and extract information from those in order to get different data sets. The second phase, has been based on the development and evaluation of methods that use the previous data sets to estimate the interest level contributed by each object.

The results show that one of the methods is similar to the statistics made in the first phase.

Agraïments

Aquest treball no s'hauria pogut dur a terme sense l'ajuda i ànim de moltes persones.

En primer lloc, donar gràcies a la directora d'aquest treball, Montserrat Corbalan Fuertes, pel suport i l'ajuda proporcionats, sempre amb una visió positiva en els moments més complicats tant de desenvolupament com de correcció i perfeccionament. També agrair al co-director, Javier Gago Barrio, ja que sense la seva disposició moltes tasques no s'haurien pogut realitzar. Addicionalment, voldria donar les gràcies a l'empresa Venco pels programes, mètode i material informàtic facilitat, en particular al mànager, Manuel Lopez Palma, pel temps i l'ajuda a encaminar diverses parts del treball.

En segon lloc, donar les gràcies als amics de pis i universitat per totes les bones estones que m'han fet passar durant aquesta etapa. Com no, donar les gràcies també als participants dels vídeos perquè sense ells el treball no hauria estat possible.

En tercer lloc, agrair als meus pares per fer possible els meus estudis i pel seu suport en tot moment. També a tota la meva família pel seu suport incondicional.

A tots vosaltres, gràcies.

Índex

| | |
|--|------|
| Resum | III |
| Resumen | IV |
| Abstract..... | V |
| Agraïments | VI |
| Llista de figures | VIII |
| Llista de taules | IX |
| 1. Introducció | 1 |
| 1.1. Objectius | 1 |
| 1.2. Cronograma | 2 |
| 2. Calibratge de càmera..... | 3 |
| 2.1. Història..... | 3 |
| 2.2. Model de càmera..... | 5 |
| 2.3. Calibratge..... | 10 |
| 2.4. Pràctica..... | 13 |
| 3. Conjunt de dades | 16 |
| 3.1. Adquisició de vídeos..... | 16 |
| 3.2. Generació d'etiquetes | 21 |
| 3.2.1. Generador d'etiquetes..... | 21 |
| 3.2.2. Afegidor de vídeos | 23 |
| 3.2.3. Replantejament i qualitat d'etiquetes | 25 |
| 4. Mètodes | 35 |
| 4.1. Mapa de zones | 35 |
| 4.2. Assignació Permanent..... | 45 |
| 4.3. Segmentació d'objectes | 49 |
| 5. Resultats | 53 |
| 6. Conclusions i treball futur | 60 |
| Bibliografia..... | 62 |
| Annexos..... | 64 |
| A. Estadístiques de les proves | 64 |
| B. Taules de l'efecte d'etiquetatge | 68 |
| C. Altures dels objectes i relacions píxel/metre | 69 |
| D. Taules i gràfics de resultats..... | 70 |

Llista de figures

| | |
|--|----|
| Figura 1: Model geomètric de càmera pinhole..... | 5 |
| Figura 2: Model geomètric modificat de càmera pinhole..... | 6 |
| Figura 3: Esquema de distorsió d'imatge radial i tangencial | 8 |
| Figura 4: Categories de distorsió radial d'imatge..... | 8 |
| Figura 5: Model geomètric modificat amb sistema de referència extern | 10 |
| Figura 6: Angles que caracteritzen els graus de llibertat del cap humà | 16 |
| Figura 7: Esquema de l'efecte de l'error d'etiquetatge a l'augmentar la distància | 17 |
| Figura 8: Sistema d'enganxament de la càmera al sostre..... | 18 |
| Figura 9: Mesures de la sala i el punt central de les zones de captació..... | 19 |
| Figura 10: Mesures i aproximacions de les zones de captació de la càmera..... | 20 |
| Figura 11: Captura del programa generador d'etiquetes | 21 |
| Figura 12: Esquema informatiu de l'etiquetatge manual | 24 |
| Figura 13: Imatges dels escenaris de les dues proves en estat Original on el de l'esquerra correspon a la prova1 i el de dreta a la prova2 | 28 |
| Figura 14: Interval de confiança de l'etiquetatge en estat Original | 31 |
| Figura 15: Interval de confiança de l'etiquetatge en estat Undistorted1 | 31 |
| Figura 16: Mapa d'atenció relatiu a la sala..... | 36 |
| Figura 17: Esquema obtenció de la posició de la persona a la sala | 37 |
| Figura 18: Esquema de les funcions limitadores de l'àrea projectada | 39 |
| Figura 19: Captura d'una àrea projectada..... | 41 |
| Figura 20: Límits entre les tres zones de la sala i la persona..... | 43 |
| Figura 21: Marge de filtratge centrat a l'angle yaw | 47 |

Llista de taules

| | |
|---|----|
| Taula 1: Paràmetres generals de calibratge de càmera | 12 |
| Taula 2: Paràmetres intrínsecs obtinguts | 14 |
| Taula 3: Paràmetres intrínsecs obtinguts (segon calibratge) | 15 |
| Taula 4: Comparació de Conjunts d'etiquetes amb el programa seeVideos.cpp | 27 |
| Taula 5: Mesures MSE i PSNR als escenaris | 28 |
| Taula 6: Resultats finals del programa labelsAprox.cpp | 30 |
| Taula 7: Dimensions mitjanes dels rectangles segons Conjunt | 31 |
| Taula 8: Resultats finals del programa distortAprox.cpp | 33 |
| Taula 9: Resultats finals del programa distortAprox2.cpp al conjunt Original de la prova2 | 33 |
| Taula 10: Resultats finals del programa distortAprox2.cpp al conjunt Original de la prova1 | 34 |
| Taula 11: Paràmetres de configuració dels mètodes del Conjunt Original | 56 |
| Taula 12: Paràmetres de configuració dels mètodes del Conjunt Undistorted1 | 57 |
| Taula 13: Paràmetres de configuració dels mètodes del Conjunt Undistorted2 | 58 |
| Taula 14: Comparació de mètodes amb les estadístiques globals mitjançant la mitjana entre els resultats de les sumes de les diferències en els diferents Estats utilitzant els paràmetres especificats a les Taules 11, 12 i 13. | 59 |
| Taula 15: Estadístiques de les persones originals prova1 | 64 |
| Taula 16: Estadístiques de les persones originals prova2 | 64 |
| Taula 17: Estadístiques de l'inspector originals prova1 | 65 |
| Taula 18: Estadístiques de l'inspector originals prova2 | 65 |
| Taula 19: Estadístiques de la persona normalitzades prova1 | 66 |
| Taula 20: Estadístiques de la persona normalitzades prova2 | 66 |
| Taula 21: Estadístiques de l'inspector normalitzades prova1 | 67 |

| | |
|---|----|
| Taula 22: Estadístiques de l'inspector normalitzades prova2 | 67 |
| Taula 23: Efecte etiquetatge Conjunt Original prova1 | 68 |
| Taula 24: Efecte etiquetatge Conjunt Original prova2 | 68 |
| Taula 25: Efecte etiquetatge Conjunt Undistorted1 prova1 | 68 |
| Taula 26: Efecte etiquetatge Conjunt Undistorted2 prova2 | 68 |
| Taula 27: Altures objectes prova1 | 69 |
| Taula 28: Altures objectes prova2 | 69 |
| Taula 29: Relacions píxel/metre obtingudes | 69 |

Capítol 1

1.Introducció

L'evolució de l'espècie humana ha proporcionat a aquesta un sistema visual molt complex que fa que les persones es fixin de forma pràcticament automàtica en zones concretes de tot allò que les envolta. Predir el nivell d'interès que aporta cada part d'un espai visual és una tasca molt complicada anomenada detecció de prominència visual. Tradicionalment aquesta tasca ha estat abordada amb l'ús de tècniques de processat d'imatge sobre els espais en qüestió. Majoritàriament, aquestes tècniques es basen a intentar imitar el comportament del sistema visual humà quan aquest és exposat a un camp visual o escena. Característiques com el color, la forma, l'orientació, la intensitat entre d'altres són utilitzades per tal d'identificar les zones que generen un major interès.

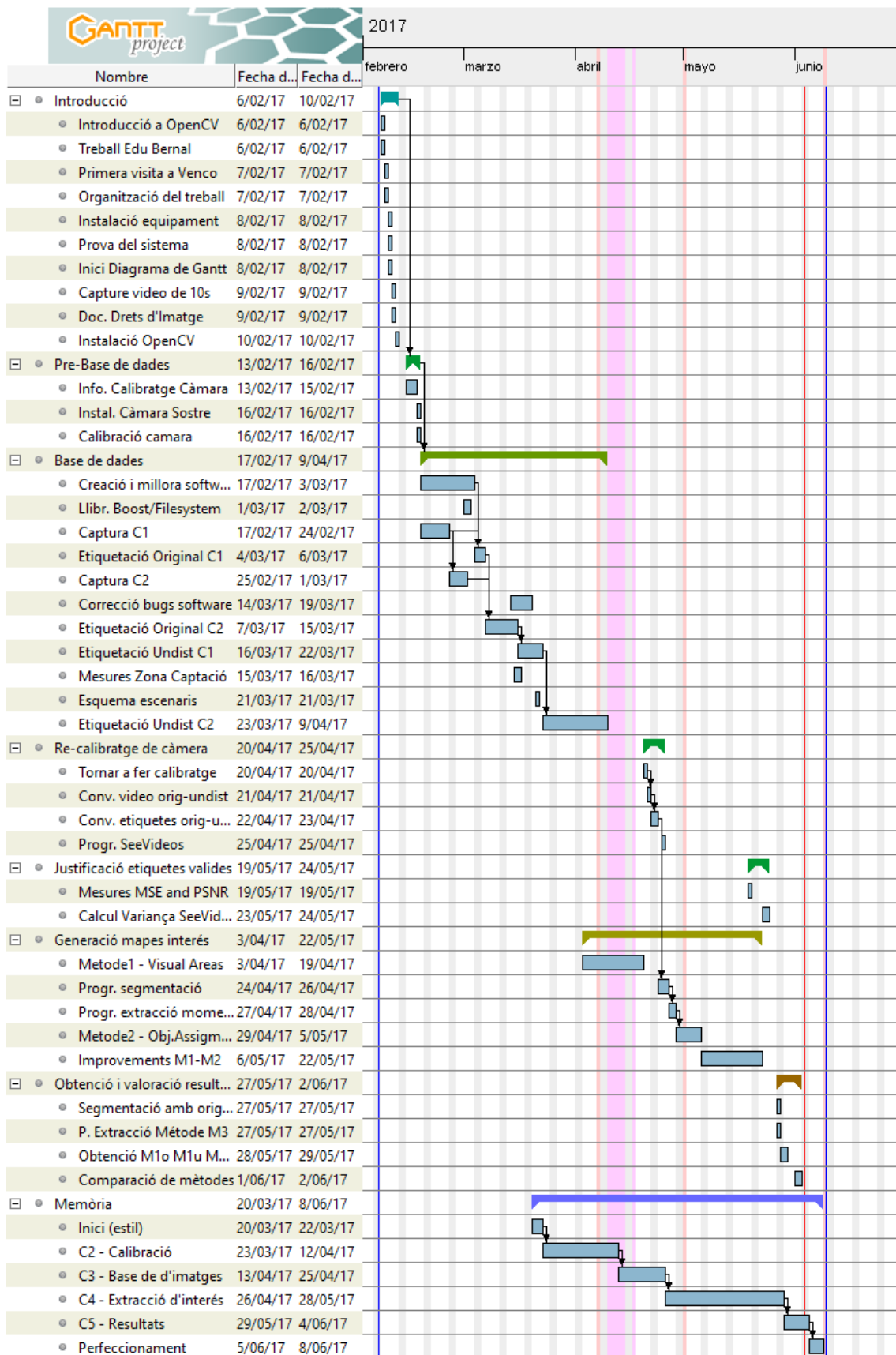
Aquest treball pretén estudiar una forma alternativa que es basa a calcular el nivell de prominència aportat per cada objecte d'un grup d'objectes considerats d'interès mitjançant la captació i posterior anàlisi de vídeos de persones durant exposicions a un espai on estan situats els objectes. Per dur-ho a terme s'han desenvolupat diversos programes al llarg del treball els quals poden ser consultats al repositori GitHub "PFG" amb nom d'usuari Ivancaminal72.

1.1. Objectius

Els principals objectius d'aquest treball són la generació d'un agrupament de dades a partir de la captació i l'etiquetatge de vídeos sobre persones exposades en un espai amb objectes d'interès i l'avaluació d'un mètode de detecció d'atenció facilitat per l'empresa Venco que utilitza les dades generades anteriorment.

Altres objectius són la realització d'un calibratge de càmera i el desenvolupament de mètodes addicionals que utilitzin l'agrupament de dades generat.

1.2. Cronograma



Capítol 2

2. Calibratge de càmera

Aquest capítol tracta sobre el calibratge de càmera i es divideix en quatre apartats: en el primer es fa una revisió de la història veient les diferents tècniques de calibratge que han sorgint al llarg del temps, en el segon es fa una introducció als models de càmera i es profunditza amb un d'ells, en el tercer s'explica en què consisteix el calibratge i s'afegeixen nous paràmetres al model i finalment s'explica el procediment seguit per portar a la pràctica la tècnica de calibratge utilitzada en el present treball.

2.1. Història

El calibratge de càmera és un procés previ necessari per poder obtenir informació mètrica d'un espai 3D a partir d'imatges 2D, aquest procés va començar a ser objecte de recerca a partir de l'any 1970 amb una tendència creixent (en part gràcies a les primeres aparicions de càmeres digitals al mercat). Actualment, gràcies a les nombroses aportacions de la comunitat de fotogrametria i més tard la de visió per computador es disposa d'un gran nombre de tècniques que poden ser classificades segons si utilitzen o no un objecte com a referència:

- **Calibratge amb objecte de referència o fotogramètric:** Aquesta classe de mètodes capturen imatges on apareix un objecte conegut amb gran precisió, segons la geometria de l'objecte es poden classificar en:
 - ❖ **Tridimensionals:** normalment en aquest cas per simplicitat s'utilitzen objectes compostos per 2 o 3 plans ortogonals entre si, tot i no ser estrictament necessari [1]. El nombre de captures a l'objecte de referència sol ser més petit que la resta.
 - ❖ **Bidimensionals:** en aquest cas els objectes solen ser un patró dibuixat sobre una superfície plana, és important que aquesta sigui totalment rígida

per tal de no introduir error en el sistema per possibles curvatures. Les tècniques que utilitzen aquest tipus d'objecte solen tenir una configuració inicial més simple que la resta i per tant una major popularitat en la comunitat d'usuaris no experts.

- ❖ **Unidimensionals:** aquests tipus de mètodes requereixen un objecte de com a mínim 3 punts coplanaris i un dels quals ha d'estar immòbil. Igual que els de tipus bidimensional són necessàries diverses captures de l'objecte en qüestió, han estat els últims a ser investigats[2].

Les tècniques sobre calibratge fotogramètric més conegudes són la de Tsai (1987) [3], es tracta d'una tècnica de càlcul ràpid i acurat tot i que és difícil de reproduir perquè requereix mesurar les coordenades 3D d'un patró amb un gran nombre de punts respecte a una referència fixa; la de Heikkila & Silven (1997) [4], és una tècnica que utilitza DTL¹ i una estimació de mínims quadrats per corregir la distorsió d'imatge; i finalment la de Zhang (2000) [5], tal com defineix l'autor es tracta d'una tècnica "flexible, robusta i barata", segurament és la més utilitzada fins al moment perquè només requereix capturar com a mínim dues imatges d'un patró en diferents orientacions, a més, no requereix conèixer el moviment del patró. Aquesta tècnica resol primer de forma analítica i després optimitza amb un mètode de màxima versemblança i igual que l'anterior tècnica realitza una estimació de la distorsió de les lents.

- **Autocalibratge:** Aquesta classe de mètodes no requereixen cap tipus d'objecte per poder realitzar el calibratge, només la captura d'imatges dins un espai estàtic. Un dels principals inconvenients d'aquests mètodes és que impliquen un gran cost computacional per poder estimar el gran nombre de paràmetres requerits, a més, en alguns casos el moviment de la càmera o l'estructura de l'escena captada no resulta ser suficient per realitzar el calibratge [6].

¹ DTL: *Direct Linear Transformation* és una tècnica desenvolupada per Abdel-Aziz y Karara basada en el model de càmera *pinhole* que ignorant les components no lineals de la distorsió radial i tangencial permet obtenir els paràmetres requerits utilitzant coordenades homogènies.

2.2. Model de càmera

Per poder realitzar el calibratge de càmera primer de tot és necessari disposar d'un model d'aquesta. Els models es basen a fer una aproximació el més semblant possible al comportament real d'una càmera, com és lògic, la complexitat del model augmenta com més s'hi aproxima. Un cop coneguts els paràmetres d'un model és possible predir (amb un cert marge d'error) en quin punt de la imatge 2D estaria situat un punt 3D de l'exterior sempre que existeixi la seva projecció.

La majoria de tècniques de calibratge vistes en l'apartat anterior es basen en el model de càmera *pinhole*, aquest és un model geomètric simple que consisteix en dos plans imaginaris i un forat infinitesimal situat al centre (veure figura 1), el pla *Pinhole* bloqueja tota la llum provinent de l'exterior mentre que el forat deixa passar tan sols un raig de llum que és projectat en el pla *Sensor* [7].

Una implementació real d'aquest model no seria viable perquè la poca intensitat de llum que proporciona un sol raig seria insuficient per excitar el sensor durant una exposició ràpida. Per poder solucionar aquest problema, a la realitat s'utilitzen lents que concentren els rajos segons el principi de refracció, és a dir, els rajos són desviats de la direcció incident quan canvien d'un medi de propagació a un altre que té una densitat òptica diferent [8], el procés pot ser calculat mitjançant la llei de Snell.

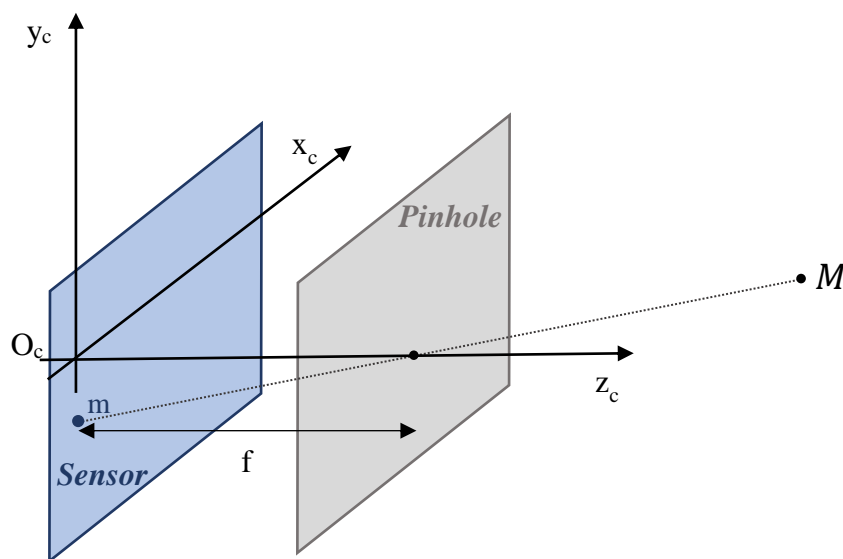


Figura 1: Model geomètric de càmera pinhole

El sistema de coordenades de la càmera és $C = \{O_c; x_c, y_c, z_c\}$, la distància entre els plans *Pinhole* i *Sensor* es la distància focal, el punt $M = (M_x, M_y, M_z)$ és un punt 3D situat a l'exterior i $m = (m_x, m_y, 0)$ la seva imatge projectada que pot ser calculada fàcilment aplicant el primer teorema de Tales i aïllant:

$$\frac{-m_x}{f} = \frac{M_x}{M_z} \rightarrow m_x = -f \frac{M_x}{M_z}$$

$$\frac{-m_y}{f} = \frac{M_y}{M_z} \rightarrow m_y = -f \frac{M_y}{M_z}$$

Per fer que els càlculs posteriors esdevinguin més fàcils es fa una petita modificació equivalent al model original de la figura 1 invertint els plans *Pinhole* i *Sensor* [9] (veure figura 2), ara a l'igual que en el cas anterior les imatges projectades s'obtenen amb la intersecció dels rajos dels punts externs amb el pla *Sensor*.

El punt *pp* és el punt principal i representa la intersecció entre l'eix òptic (z_c) i el pla *Sensor*, la distància entre el centre de coordenades de la càmera i el punt *p* és la distància focal f , la imatge projectada $m = (m_x, m_y, f)$ del punt exterior $M = (M_x, M_y, M_z)$ està situada a la intersecció entre el pla *Sensor* i la recta que passa pel centre de coordenades de la càmera i el punt *M*, pot també ser referenciada al sistema de coordenades del pla *Sensor* $P = \{O_p; x_p, y_p\}$ de la forma $m = (m_x, m_y)$ i el seu valor pot ser trobat de la mateixa forma que abans, aquest cop però no estarà invertida (sense signe negatiu).

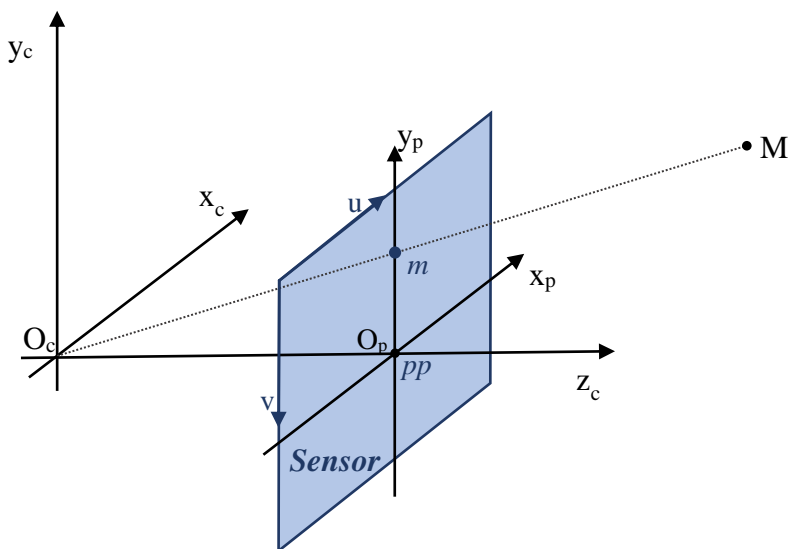


Figura 2: Model geomètric modificat de càmera pinhole

A continuació, el següent pas a realitzar en el model modificat de la figura 2 és passar els punts que representen les imatges projectades m als píxels del sensor amb sistema de coordenades $S = \{O_s; u, v\}$ (en els propers càlculs O_s és igual a O_p), per dur a terme aquest canvi s'introdueixen dos nous conceptes en el model modificat [9]:

Pel que fa al punt principal, a la realitat no sol quedar exactament situat al centre del sensor, per corregir les possibles desviacions s'introdueixen els paràmetres c_x i c_y , d'altra banda respecte a la distància focal, com que els píxels del sensor a la realitat no tenen una forma exactament quadrada, s'introdueixen dues distàncies focals f_x i f_y que passen a ser mesurades en píxels en comptes de metres, per obtenir els valors de les noves distàncies focals s'utilitzen les constants s_x i s_y que són l'amplada i l'altura dels píxels del sensor $f_i = f * s_i$. El punt projectat és $p = (p_u, p_v)$ on:

$$p_u = f_x \frac{M_x}{M_z} + c_x$$

$$p_v = f_y \frac{M_y}{M_z} + c_y$$

Fins ara, el model modificat s'aproxima al comportament real de la càmera, no obstant per obtenir una millor aproximació s'ha de tenir en compte el comportament de les lents. Les lents, tal com s'ha explicat anteriorment són objectes que permeten una correcta excitació del sensor en exposicions de curta durada mitjançant la concentració de rajos, tanmateix, el fet de disposar-ne introdueix aberracions al sistema. Les aberracions òptiques són diferències que apareixen a la imatge captada respecte de la predita per l'òptica paraxial degudes al comportament del sistema òptic [10], es poden classificar en:

- **Aberracions monocromàtiques:** són les que no tenen en compte la freqüència de la llum i els principals tipus són: *piston*, inclinació, desenfocament, aberració esfèrica, *coma*, astigmatisme, curvatura de camp i distorsió d'imatge.
- **Aberracions cromàtiques:** aquestes sí que tenen en compte la freqüència de la llum, són provocades pel fenomen de dispersió² i n'hi ha de tipus: axial i lateral.

² La dispersió òptica és un fenomen que fa que la llum es refracti de forma diferent quan travessa un medi en funció de la longitud d'ona.

Dels diferents tipus d'aberració òptica enunciats, només es tindrà en compte el de distorsió d'imatge que pot ser dividit en:

- **Distorsió radial:** apareix quan un punt d'una imatge és desplaçat cap a l'exterior o interior del punt principal respecte la seva posició ideal (veure figura 3) [11], la distorsió és més significativa al disminuir la qualitat i/o la distància focal de les lents, sent més present als punts situats a una major distància respecte del centre òptic, sent aquest l'únic punt que no en té [12].

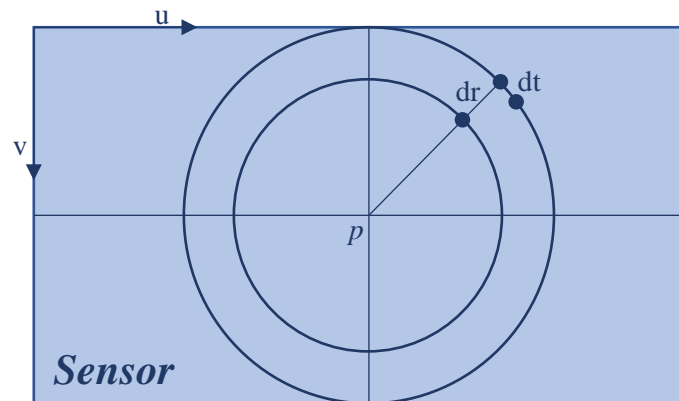


Figura 3: Esquema de distorsió d'imatge radial i tangencial

Les principals categories de distorsió radial són: *Barrel*, *Pincushion* i *Mustache* [13]. Tal com es pot veure a la figura 4 d'esquerra a dreta el primer requadre correspon a una imatge sense distorsió, el segon conté distorsió *Pincushion*, el tercer *Barrel* i l'últim *Mustache* (és una combinació les dues anteriors).

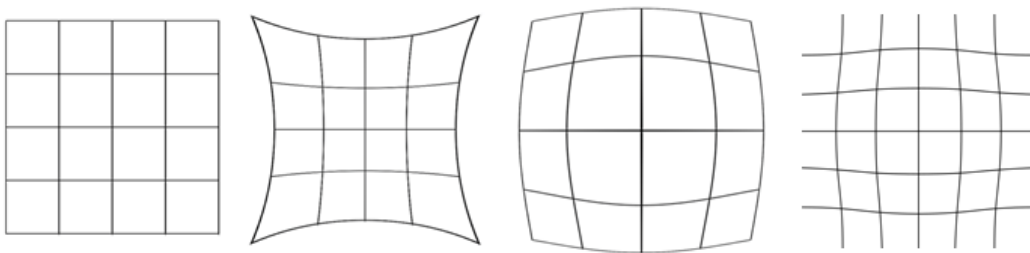


Figura 4: Categories de distorsió radial d'imatge

- **Distorsió tangencial:** apareix quan un punt d'una imatge és desplaçat sense variar la distància al punt principal (veure figura 3), normalment aquest tipus de distorsió és causat per un mal posicionament (no exactament paral·lel) del sensor i les lents en el procés de construcció de la càmera [9].

Aquests dos tipus de distorsió d'imatge acostumen a ser representats a partir del model de distorsió de Brown–Conrady [13]:

$$x' = x \frac{1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6}{1 + K_4 r^2 + K_5 r^4 + K_6 r^6} + 2p_1 xy + p_2 (r^2 + 2x^2)$$

$$y' = y \frac{1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6}{1 + K_4 r^2 + K_5 r^4 + K_6 r^6} + 2p_2 xy + p_1 (r^2 + 2y^2)$$

On:

- $x = \frac{M_x}{M_z}, y = \frac{M_y}{M_z}$
- K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 i K_6 són coeficients radials de distorsió.
- p_1 i p_2 són coeficients tangencials de distorsió.
- $r = \sqrt{\left(\frac{M_x}{M_z}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_z}\right)^2}$

El primer terme correspon a l'aproximació de la distorsió radial en sèrie de Taylor, el segon i tercers termes corresponen a l'aproximació de la distorsió tangencial.

2.3. Calibratge

El calibratge consisteix a calcular els paràmetres intrínsecs i/o extrínsecs d'un model de càmera mitjançant un conjunt d'imatges capturades. Els paràmetres intrínsecs són aquells que afecten internament al procés de captura, majoritàriament tenen a veure amb qüestions òptiques (tots els vistos a l'apartat anterior són d'aquest tipus). Els paràmetres extrínsecs són aquells que afecten externament al procés de captura i tenen a veure amb les posicions i/o orientacions en el món exterior.

En relació al model modificat de l'apartat anterior, els punts externs $M = (M_x, M_y, M_z)$ (fins aleshores referenciats al sistema de coordenades de la càmera), passen a ser referenciats al sistema de coordenades del món extern $E = \{O_e; x_e, y_e, z_e\}$ com a $M' = (M'_x, M'_y, M'_z)$ (veure figura 5).

El punt M és calculat aplicant les transformacions següents [14]:

$$M = R_x R_y R_z M' + T$$

On:

- R_x, R_y i R_z són les matrius de rotació 3D entre els dos sistemes de coordenades.
- T és el vector de desplaçament entre els sistemes.
- M i M' és un punt referenciat en els sistemes C i E respectivament.

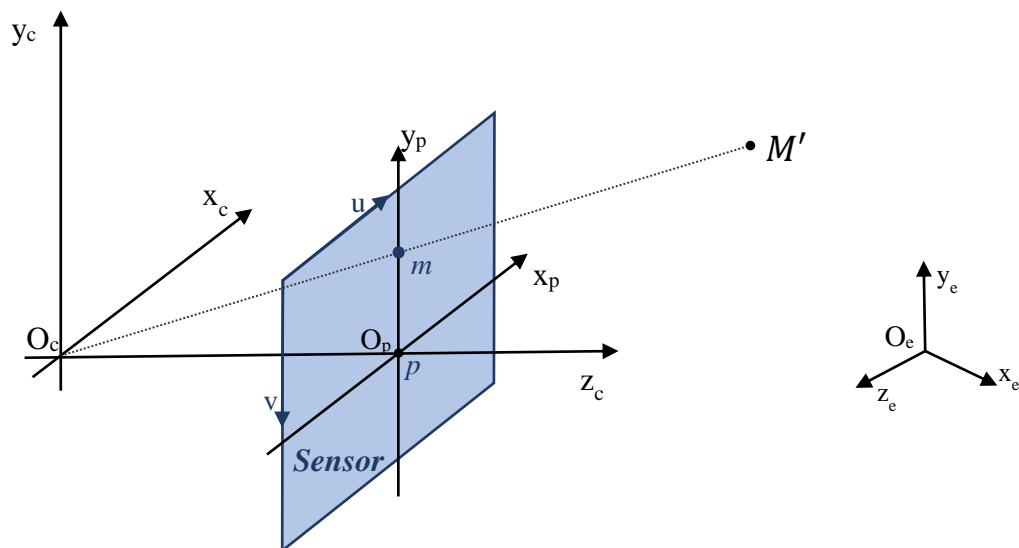


Figura 5: Model geomètric modificat amb sistema de referència extern

Expressat en forma matricial queda:

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M'_x \\ M'_y \\ M'_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix}$$

On:

- $d = (d_x, d_y, d_z)$ són les coordenades de l'origen del sistema de referència de la càmera C referenciades en el sistema de coordenades del món extern E .
- α , β i γ són els angles de rotació en sentit antihorari entre els plans yz , xz i xy respectivament dels sistemes de coordenades C i E .

El desplaçament T és una transformació no lineal i no permet ser expressada en forma de multiplicació 3x3, per poder tractar totes les transformacions anteriors com a multiplicació de matrius s'utilitzen les coordenades homogènies:

$$\tilde{M} = R_{hx}R_{hy}R_{hz}T_h\tilde{M}'$$

$$\tilde{M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_x \\ 0 & 1 & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \tilde{M}'$$

La matriu de transformació resultant queda:

$$\begin{bmatrix} w \cdot M_x \\ w \cdot M_y \\ w \cdot M_z \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & dr_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & dr_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & dr_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M'_x \\ M'_y \\ M'_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

On:

- $r_{11} = \cos\beta \cos\gamma$
- $r_{12} = \cos\beta \sin\gamma$
- $r_{13} = -\sin\beta$
- $r_{21} = \sin\alpha \sin\beta \cos\gamma - \sin\gamma \cos\alpha$
- $r_{22} = \sin\alpha \sin\beta \sin\gamma + \cos\alpha \cos\gamma$
- $r_{23} = \sin\alpha \cos\beta$
- $r_{31} = \cos\alpha \sin\beta \cos\gamma + \sin\alpha \sin\gamma$

- $r_{32} = \cos\alpha \sin\beta \sin\gamma - \sin\alpha \cos\gamma$
- $r_{33} = \cos\alpha \cos\beta$
- $dr_1 = r_{11}d_x + r_{12}d_y + r_{13}d_z$
- $dr_2 = r_{21}d_x + r_{22}d_y + r_{23}d_z$
- $dr_3 = r_{31}d_x + r_{32}d_y + r_{33}d_z$

Per obtenir el punt M es divideixen les 3 primeres components el punt \tilde{M} per la constant d'escala de l'última component.

A continuació, s'afegeix la projecció en el sistema de coordenades del sensor S (trobad a en l'apartat anterior 2.2.) $p = (p_u, p_v)$ en format matricial:

$$w' \cdot \begin{bmatrix} p_u \\ p_v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix}$$

Finalment, es calculen els paràmetres (veure taula 1) mitjançant la resolució d'equacions proporcionades pels punts de les imatges capturades amb la càmera i se sol minimitzar l'error utilitzant mètodes iteratius.

| | |
|-------------------|---|
| Intrínsecs | f_x, f_y, c_x, c_y |
| | $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, p_1$ i p_2 |
| Extrínsecs | $r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{21}, r_{22}, r_{23}, r_{31}, r_{32}, r_{33}, dr_1, dr_2$ i dr_3 |

Taula 1: Paràmetres generals de calibratge de càmera

2.4. Pràctica

El mètode de calibratge utilitzat en el present treball ha estat del tipus amb objecte bidimensional de referència utilitzant el mòdul *calib3d* de la llibreria de codi obert sobre visió per computador i aprenentatge automàtic OpenCV, concretament la funció *calibrateCamera* que està basada amb el mètode Zhang (2000) i una eina de calibratge Matlab feta per J.Y.Bouguet segons [15].

La funció *calibrateCamera* rep com a arguments:

- **objectPoints:** punter als punts externs M extrets de les captures a l'objecte bidimensional de referència, estan estructurats en forma de vector de vectors de punts on la dimensió del vector extern correspon amb el nombre d'imatges capturades.
- **imagePoints:** punter a les projeccions p dels punts externs que estan estructurades de la mateixa forma que els anteriors.
- **imageSize:** és la dimensió de les imatges capturades amb la classe *Size*.
- **cameraMatrix:** punter a la matriu 3x3 de projecció al sistema de coordenades del sensor S (vista en l'apartat anterior 2.3.), permet la introducció de paràmetres per a la seva posterior optimització.
- **distCoeffs:** punter al vector que conté els paràmetres de distorsió de les lents, la seva dimensió pot ser 4, 5 o 8 seguint l'ordre: $(k_1, k_2, p_1, p_2 [, k_3 [, k_4, k_5, k_6]])$.
- **rvecs:** punter als vectors de rotació que representen les matrius de rotació 3x3 del sistema de coordenades C al E per cada imatge capturada, aquests vectors són calculats mitjançant la transformació *Rodrigues*³.
- **tvecs:** punter als vectors de desplaçament del sistema C al E .
- **flags:** és una variable de tipus *int* que especifica quines opcions estan activades o desactivades per realitzar el calibratge mitjançant l'operador inclusiu OR. Les opcions disponibles són:

CV_CALIB_USE_INTRINSIC_GUESS – Permet utilitzar els paràmetres introduïts a l'argument *cameraMatrix* per optimitzar-los.

³ Transformació *Rodrigues* o *Rodrigues' Rotation formula*: és un algoritme que permet expressar una matriu de rotació en format vectorial mitjançant l'eix i l'angle de rotació.

CV_CALIB_FIX_PRINCIPAL_POINT – Permet fixar el punt principal al centre del pla *Sensor* o en cas de tenir activada l’opció anterior en el punt escollit.

CV_CALIB_FIX_ASPECT_RATIO – Permet mantenir la relació f_x/f_y de l’argument *cameraMatrix* en cas de tenir la primera opció activada o en cas contrari s’estima tan sols f_y i es considera igual a f_x .

CV_CALIB_ZERO_TANGENT_DIST – Permet no tenir en compte la distorsió tangencial fixant a zero els dos coeficients.

CV_CALIB_FIX_Ki – Permet no tenir en compte qualsevol dels 6 coeficients de rotació K_i fixant-los a zero o al valor escollit en cas de tenir la primera opció activada.

CV_CALIB_RATIONAL_MODEL – Permet habilitar els coeficients de distorsió radial K_4 , K_5 i K_6 .

- **criteria:** Criteri de finalització de l’algoritme iteratiu.

El programa utilitzat per realitzar el calibratge de càmera és *calibrateCamera.cpp* que correspon al codi font d’un exemple proporcionat per la llibreria OpenCV, el programa rep com a argument la ruta a un fitxer de configuració el qual conté diferents paràmetres com són: el nombre de cantonades de l’objecte de referència, el nombre d’imatges de l’objecte, el temps entre captura d’imatges, el nom del fitxer de sortida, etc.

Per realitzar el calibratge es van captar 25 vistes diferents de l’objecte de referència (tauler d’escacs blanc i negre) movent-lo davant de la càmera, el procés va ser repetit diverses vegades fins que finalment va ser escollida la que va donar una menor mitjana de l’error de re-projecció per cada vista (*0540561out_camera_data.xml*), els paràmetres intrínsecs resultants són els següents:

| | |
|-------------------|--|
| Intrínsecs | $f_x = 546.2, f_y = 546.2, c_x = 319.5, c_y = 239.5$ |
| | $K_1 = -0.488, K_2 = 0.315, K_3 = -0.124$ |

Taula 2: Paràmetres intrínsecs obtinguts

Més endavant quan les gravacions amb la càmera ja havien estat realitzades, es va veure que s'havia comès un petit error en el fitxer de configuració inicial, concretament s'havia activat els *flags* de fixació del punt principal, fixació de la relació f_x/f_y i el de negligir la distorsió tangencial. Com que el sistema de la càmera seguia muntat, es va decidir repetir el procés de calibratge, per fer-ho primer es va comprovar que la càmera no havia estat desplaçada del seu suport verificant que els vèrtexs corresponents a la zona de captació de la càmera seguien sent els mateixos que els que hi havia quan es va realitzar el primer calibratge. Tot seguit, de la mateixa forma que el cop anterior es va realitzar el procés de calibratge diverses vegades escollint la que va donar una menor mitjana de l'error de re-projecció per cada vista (*0352out_camera_data.xml*), els paràmetres intrínsecs resultants són els següents:

| | |
|-------------------|--|
| Intrínsecs | $f_x = 516.7, f_y = 513.5, c_x = 325, c_y = 265.4$ |
| | $K_1 = -0.351, K_2 = 0.177, K_3 = -0.06$ |
| | $p_1 = -0.002, p_2 = 0.002$ |

Taula 3: Paràmetres intrínsecs obtinguts (segon calibratge)

Es pot veure com ara si en aquest segon calibratge els coeficients de distorsió tangencial han estat estimats, el punt principal ja no es troba fixat a l'eix z_c de la càmera i els dos paràmetres de la relació f_x/f_y ja no es troben fixats entre ells.

Finalment, informar que totes les dades sobre els dos calibratges realitzats (fitxers de configuració inicial, codi font del programa calibrateCamera.cpp i fitxers de calibratge generats) poden ser consultats al directori “calib” del repositori GitHub mencionat a la introducció.

Capítol 3

3. Conjunt de dades

Aquest capítol tracta sobre el procés de generació de dades referents a l'observació de persones que més tard són utilitzades pels mètodes de detecció de prominència (explicats en el següent capítol). Primerament, es detalla el procés seguit per realitzar els vídeos sobre les persones participants i a continuació, s'explica com es va extreure informació dels mateixos en format d'etiquetes per cada *frame*. Cal destacar que aquesta part ha representat gairebé la meitat de la totalitat del temps dedicat en el treball.

3.1. Adquisició de vídeos

El procés d'adquisició de vídeos va consistir en la gravació de persones durant una exposició a un espai determinat el qual contenia objectes d'interès. El fet d'utilitzar només una càmera per captar la persona durant la seva exposició feia que en l'anàlisi posterior dels vídeos fos pràcticament impossible identificar a la vegada els 3 angles que definien l'orientació del cap humà en l'espai tridimensional (veure figura 6). Un cop assumit aquest problema i després de diverses consideracions, es va optar per situar la càmera de tal forma que permetés obtenir una vista zenital⁴, aquest tipus de vista era interessant, ja que més endavant a part de detectar aproximadament l'angle *yaw* del cap de la persona també permetria identificar la seva posició dins el recinte.

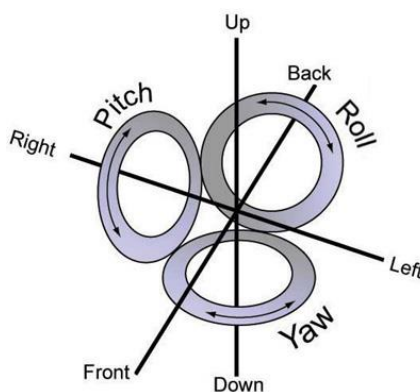


Figura 6: Angles que caracteritzen els graus de llibertat del cap humà

⁴ La vista zenital és un tipus de vista provinent d'un punt elevat normalment un sostre.

Abans de començar amb la captació de vídeos i per tal d'obtenir una relació mètrica fiable entre les projeccions i el món extern es va realitzar el calibratge de càmera explicat en l'apartat 2.4, aquest calibratge és el que posteriorment va permetre corregir la distorsió d'imatge present en els vídeos.

A continuació, es va procedir a modificar el programa de captació de vídeos *captureFromCamera* facilitat per l'empresa Venco de tal forma que en gravar permetés emmagatzemar un vídeo sense aplicar la correcció de la distorsió d'imatge (*Original*) i un altre aplicant-la (*Undistorted*).

En un primer moment, es van situar els objectes d'interès a les parets del recinte (de forma vertical) per poder així minimitzar al màxim les variacions de l'angle *pitch* i per tant poder realitzar un millor etiquetatge de l'angle *yaw*. Tanmateix, a part que el fet de situar els objectes fora de la zona de captació de la càmera no va ser acceptat per part del mànager de l'empresa Venco, la situació llunyana entre els objectes i la persona provocava un major efecte de l'error d'etiquetatge i per tant una major imprecisió en la decisió de l'objecte que estava sent mirat per la persona (veure figura 7). A més, el fet que les persones no disposessin d'un límit que els indiqués quan estaven correctament situades i quan no, feia que acostumessin a situar el cap (totalment o parcial) fora de la zona captada provocant així haver de repetir-lo. Finalment, es va decidir situar els objectes a l'interior de la zona de captació de la càmera, sobre un parell de taules i distribuïts uniformement en forma de "U" deixant una entrada pel pas de les persones.

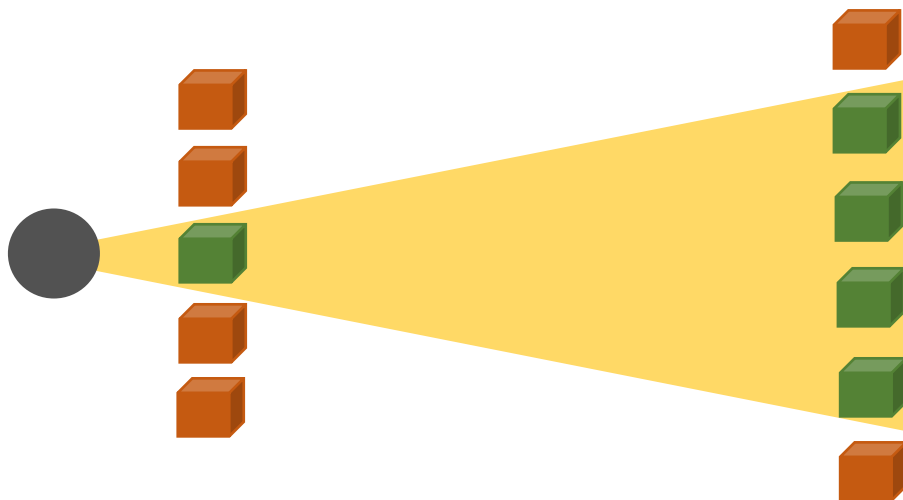


Figura 7: Esquema de l'efecte de l'error d'etiquetatge a l'augmentar la distància

Els vídeos van ser captats al Plató de TV de l'ESEIAAT entre el 17 de Febrer i 17 de Març mitjançant dues proves amb objectes d'interès diferents, la primera va constar d'11 persones amb 10 objectes i la segona de 20 persones amb el mateix nombre d'objectes. Ambdues proves consistien en la realització d'un vídeo per persona corresponent a una trajectòria de la mateixa dins la zona de captació de la càmera, aquesta trajectòria començava i acabava amb la seva entrada i sortida a la zona de captació. Per ajudar a les persones a saber quan era el moment de sortir de la zona de gravació es va fer ús d'una alarma configurada per sonar uns segons abans de la finalització dels vídeos, amb tot i això algun vídeo va haver de ser repetit. Cada persona abans de realitzar l'exposició havia de signar un acord de cessió de drets d'imatge en què acceptava que el vídeo seria utilitzat per a la realització d'una base de dades per a processat digital d'imatge.

Com que possiblement les gravacions es durien a terme a diferents hores del dia i per tant s'introduïrien canvis d'il·luminació entre els vídeos, es va decidir tapar les dues finestres petites de la sala i gravar sempre amb totes les llums enceses. A més, els objectes d'interès van ser fixats a les taules evitant així possibles canvis de posició involuntaris (ja que la sala estava sent compartida algunes hores amb activitat docent).

Els vídeos van ser realitzats amb una duració de 10 segons, una resolució de 640x480 píxels, una freqüència de 25 imatges/s i comprimits amb el codificador MP4⁵ a partir del vídeo MJPEG⁶ proporcionat per la càmera. La càmera utilitzada va ser la LI-OV5640-USB-72 que prèviament a les gravacions havia estat instal·lada al sostre mitjançant un sistema de fixació (veure figura 8) i interconnectada a un ordinador mitjançant un cable USB 2.0 des del qual es realitzaren les captures.

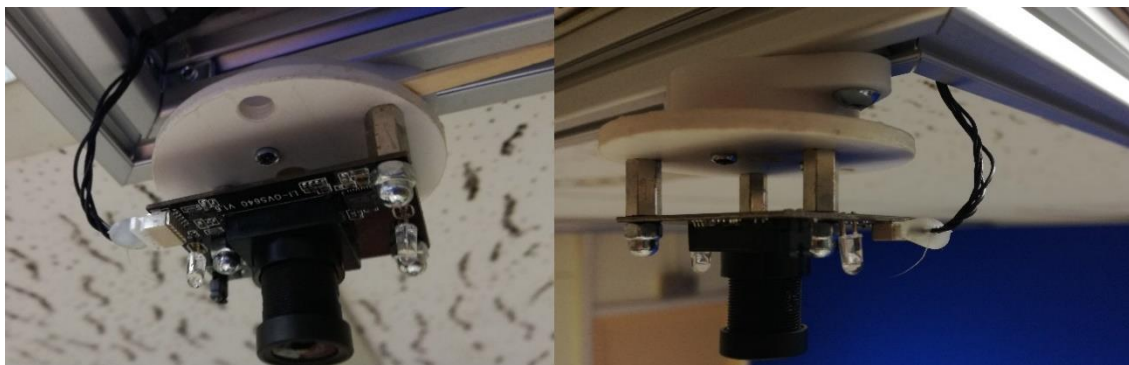


Figura 8: Sistema d'enganxament de la càmera al sostre

⁵ MP43 és el codificador Microsoft MPEG-4 versió 3.

⁶ MJPEG és un codificador que només aplica codificació JPEG a cada *frame* del vídeo.

Juntament amb la captació de cada vídeo, es van extreure estadístiques referents a l'exposició de la persona a l'espai de la sala on estaven situats els objectes considerats d'interès. Les estadístiques extretes es divideixen en dos tipus:

- **Estadístiques de la persona:** en aquest cas la persona en finalitzar el vídeo era preguntada sobre el grau d'interès i atenció que li havia donat cada objecte amb una puntuació entera del 0 al 10 sent la puntuació més baixa i més alta respectivament.
- **Estadístiques de l'inspector:** en aquest cas l'inspector (jo mateix), s'encarregava de fixar-se en la persona durant la seva exposició als objectes i avaluar el grau d'atenció que havia tingut en cada un d'ells donant una puntuació del mateix tipus que el cas anterior.

Els resultats de les estadístiques poden ser consultats a l'apartat A dels Annexos.

Un cop finalitzades les gravacions, es van realitzar les mesures referents a la sala en qüestió (veure figura 9) i les de les zones de captació de la càmera en estat *Original* i *Undistorted* (veure figura 10). El posicionament de les zones de captació dins l'espai de la sala es va realitzar mitjançant la mesura del punt central d'aquestes, aquest punt coincideix en totes les zones perquè és l'únic que no es troba afectat per la distorsió d'imatge. El sensor de la càmera està situat a 0.05 m sota el nivell del sostre.

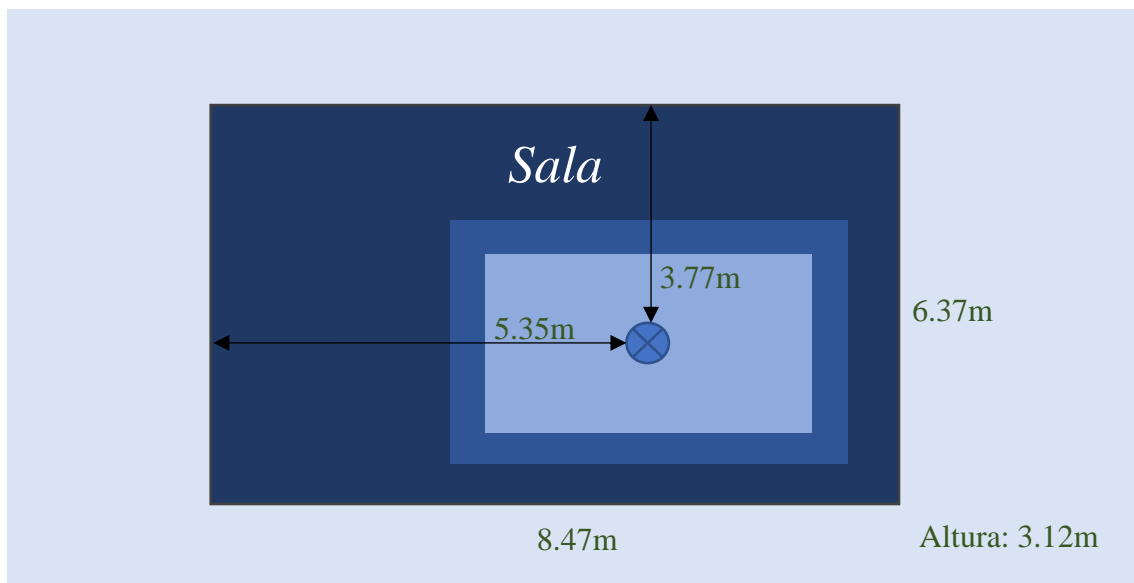


Figura 9: Mesures de la sala i el punt central de les zones de captació

Pel que fa a les zones de captació de la càmera, atès que aquestes no eren perfectament rectangulars sinó que tenien forma de distorsió radial *Pincushion* (vista en l'apartat 2.2) les mesures van ser realitzades seguint una metodologia específica. En primer lloc, es va decidir marcar els quatre vèrtexs de cada zona al sòl de la sala, per fer-ho, es va posar la càmera gravant i mostrant per pantalla la zona en qüestió, amb l'ajuda d'un bolígraf sobre el sòl de la sala en direcció al centre i a un dels vèrtexs, s'anava allunyant fins que deixava d'aparèixer, llavors aquell punt era considerat vèrtex. En segon lloc, es van mesurar les mínimes distàncies entre els vèrtexs de la sala amb l'ajuda d'un metre. Finalment, tal com va suggerir el mànager de l'empresa Venco, per tal d'obtenir una superfície rectangular i escalable a les imatges captades de la càmera les mides van ser aproximades a la relació d'aspecte 4:3 dels vídeos captats, aquesta aproximació va permetre calcular les relacions píxel/metre entre el sensor i el terra de la sala que poden ser consultades a l'apartat C dels Annexos.

Un cop captats i etiquetats tots els vídeos (tant en versió *Original* com *Undistorted*), es va trobar un petit error en la configuració inicial del procés de calibratge de càmera (veure apartat 2.4), aquest fet va fer replantejar el pla de treball i després de diverses consideracions es va optar per tornar a realitzar el procés de calibratge i les mesures de la que seria la nova zona de captació en estat *Undistorted* (veure figura 10).

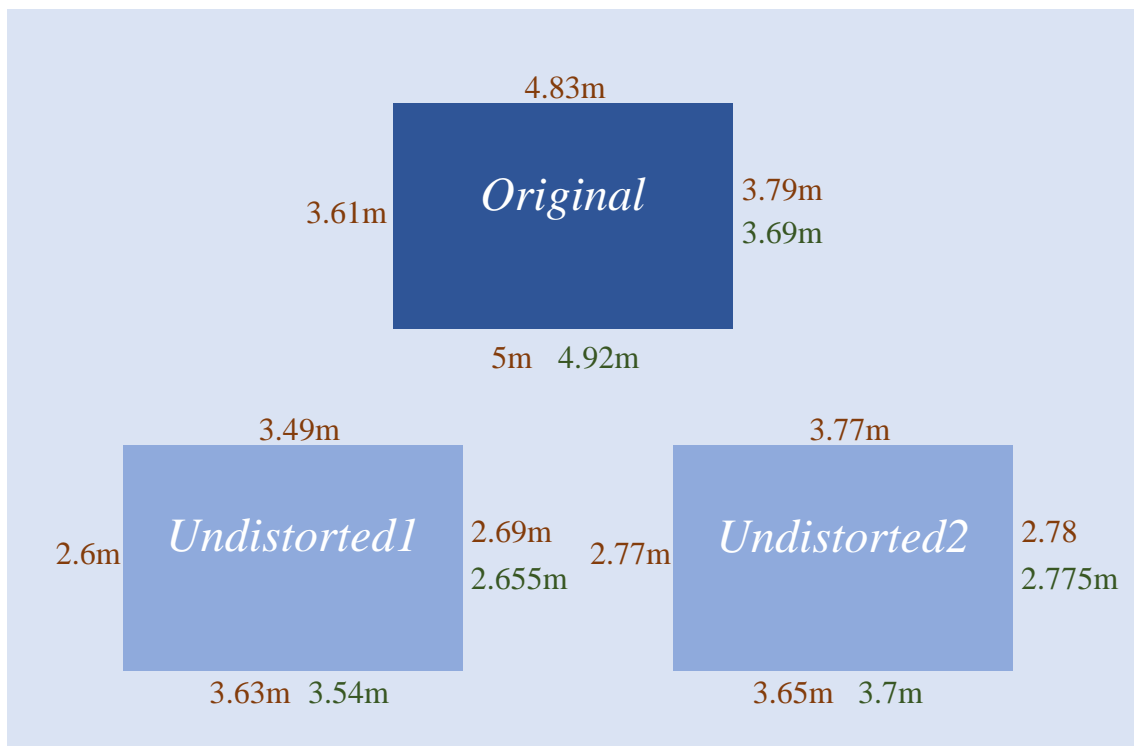


Figura 10: Mesures i aproximacions de les zones de captació de la càmera

3.2. Generació d'etiquetes

La part de generació d'etiquetes consisteix a extreure manualment la posició del cap de la persona i l'angle *yaw* per cada *frame* dels vídeos generats a l'apartat anterior i realitzar una concatenació que permeti obtenir una sola seqüència etiquetada per cada prova. Els dos primers subapartats detallen el funcionament dels programes utilitzats i en acabat s'inclou un tercer subapartat que tracta la qualitat de les etiquetes.

3.2.1. Generador d'etiquetes

El programa *databaseGenerator.cpp* és una versió millorada de l'original proporcionat per l'empresa Venco, la seva funció és mostrar des del principi fins al final cada imatge d'un vídeo escollit i permetre a l'usuari marcar primer amb un rectangle la ubicació del cap d'una persona i després amb una fletxa la direcció aproximada de l'angle *yaw* en què està mirant (veure figura 11). Cada cop que es finalitza una marca (rectangle i fletxa), el programa extreu l'etiqueta formada per la posició del píxel centrat al rectangle, la informació que defineix el rectangle i l'angle *yaw* corresponent a la direcció en què està mirant. L'inici de l'angle *yaw* (0 graus) és considerat quan la fletxa apunta a la direcció est en vista de l'usuari i creix positivament en sentit antihorari. A més, abans de guardar l'angle s'arrodoneix el seu valor amb la funció *round* del mòdul *cmath* (llibreria llenguatge C) a la part entera en graus tal com es feia a la versió original del programa.



Figura 11: Captura del programa generador d'etiquetes

Pel que fa a l'etiquetatge dels vídeos, en un principi es pretenia tan sols etiquetar els de la versió on la distorsió d'imatge havia estat corregida, tanmateix, això no va ser possible perquè el mànager va comentar que des de l'empresa Venco es necessitaven les etiquetes dels vídeos en versió *Original*, de forma addicional però, es va donar la possibilitat d'aportar també les etiquetes amb la correcció d'imatge realitzada. Donada aquesta circumstància i el gran nombre de *frames* a revisar (concretament 7750 només un estat), es va pensar que el millor seria etiquetar només la totalitat dels vídeos en format *Original* i després desenvolupar un programa que permetés obtenir unes etiquetes amb la distorsió d'imatge corregida. Ara bé, després de considerar-ho millor, es va veure que el suposat programa podria comportar força temps a desenvolupar i donaria la possibilitat a introduir errors a les etiquetes resultants. Així doncs, es va prioritzar tenir enllestides amb temps suficient les etiquetes amb els dos formats mitjançant també l'etiquetatge manual els vídeos *Undistorted*.

Tal com s'ha dit anteriorment, un cop realitzades manualment la totalitat de les etiquetes (tant en versió *Original* com *Undistorted*), es va trobar un petit error en la configuració inicial del procés de calibratge de càmera (veure apartat 2.4), aquest fet va conduir a haver de realitzar un segon calibratge i fer un replantejament de les etiquetes sense distorsió explicat en el subapartat 3.2.3.

En referència al sistema de guardat de les etiquetes, aquestes són guardades a memòria seguint el format marcat per l'empresa Venco en els següents fitxers/directori:

- **routes.yml** – Aquest fitxer conté el valor els punts centrals de tots els rectangles dibuixats per l'usuari al llarg del vídeo que contenen un cap, l'angle *yaw* de la direcció que està mirant la persona i el número de *frame* del vídeo al qual corresponen. La informació és guardada mitjançant la 1^a edició de l'estàndard de serialització YAML.
- **cascades.dat** – Aquest fitxer conté les rutes a les imatges del directori "images", el nombre d'etiquetes que conté la imatge, la posició del vèrtex superior-esquerre del rectangle, la seva amplada i altura. La informació és guardada mitjançant la llibreria *Input/Output stream* de C++ per a fitxers.
- **angles.dat** – Aquest fitxer és exactament igual que l'anterior amb l'única diferència que a més incorpora l'angle *yaw* del cap de la persona.
- **images** – Aquest és el directori que conté les imatges etiquetades de la seqüència.

Les funcionalitats en relació a l'experiència d'usuari més destacades que s'han introduït a la versió millorada del programa *databaseGenator* són:

- ✓ **Reducció d'arguments d'entrada:** Mitjançant la introducció del directori *case*, s'eliminen paràmetres d'entrada innecessaris, en la nova versió tan sols es necessari indicar la ruta al vídeo que es vol etiquetar i el directori *case* on és vol guardar la informació extreta.
- ✓ **Creació i verificació de directoris:** Mitjançant el mòdul *FileSystem* del conjunt de llibreries Boost C++, s'ha implementat la verificació i creació automàtica de directoris.
- ✓ **Continuació després de pausa:** S'ha implementat una funcionalitat considerada de gran utilitat que en cas que l'usuari surti manualment de l'aplicació (tecla "ESC"), quan aquest torna a etiquetar aquell mateix vídeo i *case* pugui continuar etiquetant automàticament a la *frame* on ho va deixar.
- ✓ **Opció de *reset*:** S'ha implementat l'opció d'eliminar les marques dibuixades en cas d'equivocació de l'usuari sempre i quan aquestes no hagin estat guardades.
- ✓ **Missatges d'error:** S'han introduït missatges d'error en cas que l'usuari premi involuntàriament una tecla que no és possible en aquell moment.

3.2.2. Afegidor de vídeos

El fet d'haver d'obtenir com a resultat de l'etiquetatge una sola seqüència etiquetada corresponent a la concatenació dels vídeos pertanyents a una mateixa prova feia necessari haver de desenvolupar un nou programa. Aquest programa hauria de ser capaç de generar de forma ordenada la concatenació de vídeos i etiquetes a partir dels vídeos i un *case* (directori generat amb el programa *databaseGenerator* que conté les etiquetes per cada vídeo pertanyent a una mateixa prova).

El programa *addVideos* és el programa implementat en la seva totalitat que permet a l'usuari afegir els vídeos etiquetats d'un mateix *case* de tal forma que com a resultat s'obté un directori (anomenat Conjunt) amb els tres fitxers d'etiquetes (explicats en l'apartat anterior), el directori d'imatges i el vídeo resultant corresponent a la seqüència concatenada de forma ordenada segons l'ordre d'afegiment de cada vídeo.

El programa en qüestió, rep com a arguments d'entrada necessaris el nom de la seqüència resultant i com a opcionals el nom del *case* que és anomenat "pack_name" (per defecte

és el mateix que el de la seqüència resultant), el directori de guardat, el directori dels vídeos i el directori dels *cases* anomenat “dir_packs/”. Una vegada l’usuari ha introduït els arguments d’entrada, el programa pregunta si vol afegir un nou vídeo a la seqüència o vol sortir. En cas de voler afegir un nou vídeo, només cal introduir el nom del fitxer del vídeo situat en el directori de vídeos (introduït com a argument inicial). Seguidament, en cas de no haver-hi cap error el programa retorna a la situació inicial per afegir un nou vídeo o sortir. En cas de voler sortir i haver afegit algun vídeo el programa procedeix a realitzar les operacions de guardat especificades en els arguments inicials. Igual que el programa *databaseGenerator* (versió millorada), aquest programa fa ús del mòdul *FileSystem* del conjunt de llibreries Boost C++ per tal de fer una ràpida verificació i creació de directoris.

A continuació es mostra un esquema explicatiu de la informació generada amb els dos programes anteriors:

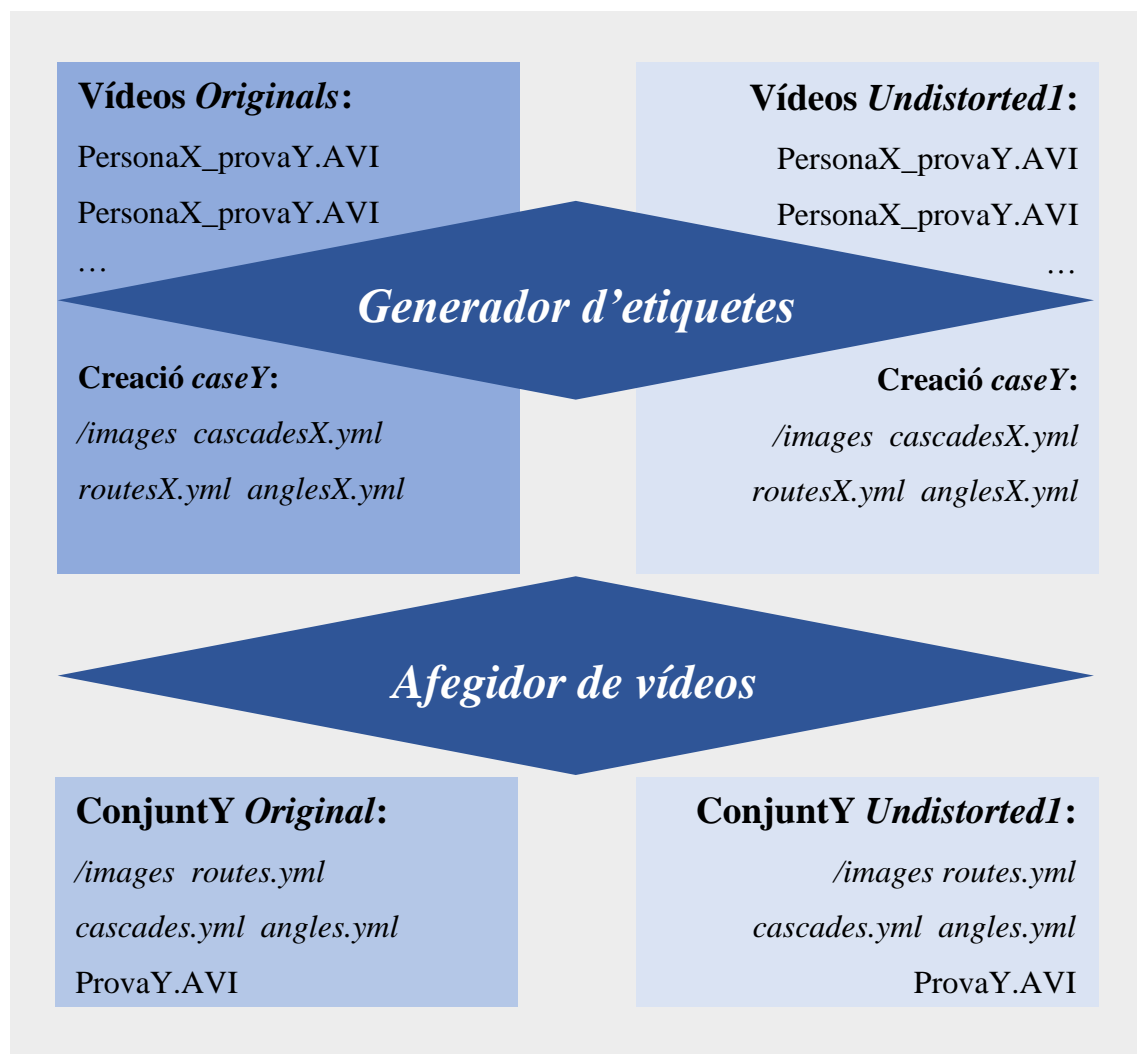


Figura 12: Esquema informatiu de l'etiquetatge manual

3.2.3. Replantejament i qualitat d'etiquetes

Aquest subapartat té com a objectius replantejar els Conjunts d'etiquetes que finalment seran utilitzats pels mètodes del següent capítol i estudiar-ne la qualitat. Fins ara, es disposa de quatre Conjunts corresponents a la concatenació dels vídeos etiquetats manualment tant en estat *Original* com *Undistorted1* de les dues proves amb objectes d'interès diferents (apartat 3.1). La realització d'un segon calibratge va fer que a primera vista les etiquetes dels Conjunts *Undistorted1* tan sols tinguessin validesa en aquests, per tant, era necessària l'obtenció de més etiquetes i la creació dels vídeos concatenats *Undistorted2*, aquest fet va portar a plantejar dues opcions:

- 1) Crear un programa que permetés corregir la distorsió d'imatge dels vídeos dels dos Conjunts *Originals* amb el segon calibratge i tornar a etiquetar manualment totes les etiquetes, fet que implicaria haver de revisar per tercera vegada un total de 7750 *frames*.
- 2) Realitzar el programa que no s'havia fet anteriorment el qual permetria obtenir unes terceres etiquetes corregint la distorsió d'imatge de les etiquetes *Originals* utilitzant el segon calibratge.

Després de diverses consideracions es va optar per implementar el programa de correcció d'etiquetes.

El programa *routesUndistort.cpp* és un programa implementat que permet corregir la distorsió d'imatge present en les etiquetes dels dos Conjunts *Originals*, aquest programa ha estat desenvolupat parcialment perquè la totalitat dels mètodes del següent capítol tan sols requereixen disposar de la informació pertanyent als fitxers *routes.yml*. Per tant, donat aquest fet, tan sols ha estat implementada la part de correcció del punt central del rectangle (on hi ha el cap d'una persona) i l'angle *yaw*. Durant el desenvolupament del programa es va trobar un problema que fins aleshores no havia estat detectat i era la impossibilitat realitzar la correcció de l'angle *yaw*, aquesta impossibilitat venia donada perquè la distorsió radial no era la mateixa a tots els punts de la imatge i per tant no era possible utilitzar qualsevol punt de la recta formada per la posició central del rectangle i l'angle *yaw*. Amb tot i això, es va decidir acabar d'implementar el programa sense modificar l'angle per tal d'obtenir unes etiquetes i els vídeos *Undistorted2*.

Essencialment el funcionament del programa es basa a crear un nou Conjunt a partir de l'*Original* on hi hagi un fitxer de *routes.yml* que contingui els angles *yaw*, els numeros de *frame* i tots els punts centrals dels rectangles corregits mitjançant la funció *undistortPoints*; a més, el programa també genera un nou vídeo (*Undistorted2*) a partir de la correcció de la distorsió d'imatge per cada *frame* del vídeo *Original* mitjançant la funció *undistort*. Ambdues funcions utilitzades pertanyen al mòdul *imgproc* de la llibreria OpenCV i requereixen disposar de la matriu de projecció i els coeficients de distorsió corresponents al segon calibratge de càmera. Després de finalitzar el desenvolupament del programa, aquest va ser aplicat als dos Conjunts *Originals*.

Un cop obtinguts els dos nous Conjunts *Undistorted2*, es va procedir a realitzar un estudi per determinar la qualitat de les rutes que es disposava. El primer pas va ser desenvolupar el programa *seeVideos.cpp* el qual permet mostrar dos etiquetatges diferents (separats per color) dibuixant-los sobre cada *frame* d'un vídeo escollit i realitzar la mitjana de les diferències entre les coordenades x i y dels punts centrals dels rectangles i els angles entre els dos etiquetatges.

El funcionament a trets generals del programa *seeVideos.cpp* consisteix en primer de tot carregar els rectangles dels caps en dos vectors anomenats *vrecs1* i *vrecs2* a partir de fitxers *cascades.dat* (aquest pas només es realitza en cas que s'hagin introduït les rutes corresponents com a arguments d'entrada al programa). A continuació, es carreguen els fitxers de *routes.yml* a un vector d'estructures (de la mateixa forma que en el cas anterior només es carreguen les que s'han introduït com a argument d'entrada), tot seguit, es dibuixen els rectangles dels vectors anteriors i les fletxes des del punt central del rectangle, segons l'angle *yaw* i amb una longitud fixada sobre cada *frame* corresponent del vídeo escollit. Finalment, el vídeo és mostrat per pantalla permetent avançar o retrocedir *frames* amb les tecles: "suma" (endavant) i "resta" (endarrere).

Cal informar que les estructures del vector de rutes disposen d'una variable entera anomenada "frame" la qual és inicialitzada a -1, aquest fet fa que quan s'inicialitza el vector d'estructures a una dimensió igual a la del nombre de *frames* del vídeo totes les estructures tinguin la variable "frame" igual a -1, això és utilitzat alhora de calcular les mitjanes de les diferències, ja que només es tenen en compte les que en els dos vectors de rutes tenen la variable "frame" diferent de -1.

Tan bon punt el programa va ser provat, es va veure que quan es comparaven gràficament les etiquetes del Conjunt “Undistorted1_manual_provaY” amb el fitxer de *routes.yml* i el vídeo del nou Conjunt “Undistorted2_corregit_provaY” els punts centrals al cap de la persona eren molt similars, en canvi, els angles *yaw* eren força millors els de les primeres etiquetes. Diverses combinacions de Conjunts van ser provades obtenint les següents mitjanes de les diferències de coordenades x i y dels punts centrals i angles:

| Etiquetes 1r Conjunt | Etiquetes 2n Conjunt | py | px | angle |
|------------------------|--------------------------|------|------|-------|
| Original_manual_prova1 | Original_corregit_prova1 | 6,39 | 5,83 | 0,00 |
| Original_manual_prova2 | Original_corregit_prova2 | 2,44 | 1,73 | 0,00 |
| Original_manual_prova1 | Unistorted1_manual_p1 | 7,67 | 5,92 | 7,71 |
| Original_manual_prova2 | Unistorted1_manual_p2 | 3,77 | 3,11 | 7,67 |
| | | | | |
| Original_manual_prova1 | Undistorted2_corregit_p1 | 6,47 | 6,93 | 0,00 |
| Original_manual_prova2 | Undistorted2_corregit_p2 | 2,52 | 1,91 | 0,00 |
| | | | | |
| Unistorted1_manual_p1 | Undistorted2_corregit_p1 | 2,58 | 2,24 | 7,71 |
| Unistorted1_manual_p2 | Undistorted2_corregit_p2 | 2,35 | 2,24 | 7,67 |

Taula 4: Comparació de Conjunts d'etiquetes amb el programa *seeVideos.cpp*

Observant les dues primeres files de la Taula 4, es pot veure com l'efecte de la distorsió radial (corregida amb el primer calibratge) és aproximadament tres vegades més significatiu en la primera prova que en la segona, aquest fet és causat perquè la distribució de taules de l'escenari a la segona prova no permetia un desplaçament dels caps tan ampli respecte a la zona de captació (veure figura 13) (cal recordar que la distorsió radial d'imatge creix en augmentar la distància al centre òptic). Una segona conclusió que es pot extreure observant les dues últimes files és que la diferència mitjana entre les coordenades dels punts centrals dels rectangles dels dos Conjunts és força baixa tot i haver estat etiquetades manualment de forma independent. Aquest fet indica que els punts finals de les fletxes de les etiquetes vermelles tindrien una diferència mitjana similar a la dels punts finals de les etiquetes verdes. Per tant, es pot suposar que les etiquetes vermelles són millors que les verdes pel nou Conjunt i que la correcció de la distorsió amb el segon calibratge no es diferencia molt de la del primer. Cal recordar que l'angle que apareix a les dues últimes files es correspon a la comparació mitjançant la mínima diferència entre els angles etiquetats manualment dels vídeos en estat *Undistorted1* i *Originals*, ja que el programa *routesUndistort.cpp* no corregeix el valor de l'angle.



Figura 13: Imatges dels escenaris de les dues proves en estat Original on el de l'esquerra correspon a la prova1 i el de dreta a la prova2

El segon pas de l'estudi, ha estat aplicar les mesures de qualitat d'imatge MSE⁷ i PSNR⁸ a diferents imatges dels escenaris, l'aplicació d'aquestes mesures ha estat possible gràcies a la implementació del programa *errImg.cpp* que rep com a arguments d'entrada les rutes a les dues imatges que es volen comparar. La taula 5 mostra els resultats obtinguts que corresponen a la comparació de *frames* dels vídeos en diferents estats on no apareixen persones (s'ha agafat el mateix número de *frame* en els diferents estats).

| | | | PSNR (dB) | MSE |
|--------|--------------|--------------|-----------|---------|
| Prova1 | Original | Undistorted1 | 16,8573 | 1340,76 |
| Prova1 | Original | Undistorted2 | 17,6684 | 1112,36 |
| Prova1 | Undistorted1 | Undistorted2 | 21,2015 | 493,096 |
| | | | | |
| Prova2 | Original | Undistorted1 | 19,3149 | 761,361 |
| Prova2 | Original | Undistorted2 | 20,2246 | 617,477 |
| Prova2 | Undistorted1 | Undistorted2 | 25,8175 | 170,347 |

Taula 5: Mesures MSE i PSNR als escenaris

Les dues mesures utilitzades no són perceptives, és a dir, tan sols es limiten a valorar el nivell de soroll del senyal i no la forma que realment les persones perceben les imatges. Amb tot i això, es pot veure clarament com al comparar les dues imatges dels escenaris on s'ha aplicat els calibratges s'obtenen uns valors de PSNR més alts que la resta i uns valors de MSE bastant més baixos, això torna a evidenciar la poca diferència entre les imatges corregides amb els calibratges respecte a les diferències amb les originals.

⁷ MSE (*Mean Square Error*) és una mesura que permet calcular la mitjana dels errors al quadrat.

⁸ PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) és una mesura que permet relacionar la màxima energia possible d'un senyal amb el nivell d'error mitjà, aquesta mesura sol expressar-se en decibels.

Com que les diferències entre les coordenades dels punts i angles proporcionades pel programa *seeVideos.cpp* i el càlcul de les mesures de qualitat d'imatge no han permès extreure conclusions fiables sobre la qualitat dels Conjunts, sinó que tan sols han servit per determinar que les etiquetes *Undistorted1* són millors pel nou Conjunt que les obtingudes mitjançant la correcció de les *Originals*, s'ha decidit canviar d'estratègia. Així doncs, la forma de procedir amb l'estudi sobre la qualitat de les etiquetes ha estat canviada per una altra que es basa a considerar primer l'efecte d'etiquetatge manual en les tres variables estudiades (coordenades x i y juntament amb l'angle *yaw*) i després l'efecte diferència entre el primer i segon calibratge com distribucions normals de probabilitat, aquestes consideracions permetran establir intervals de confiança.

Efecte de l'etiquetatge:

L'avaluació d'aquest efecte consisteix a considerar la posició dels punts centrals dels rectangles, el seu angle *yaw* i la seva distància com a distribucions normals, aquestes distribucions es consideren diferents per cada prova i estat dels vídeos. La forma d'obtenir les distribucions consisteix a calcular la mitjana de cada una de les variables i posteriorment la desviació típica.

Per poder dur-ho a la pràctica s'ha desenvolupat el programa *labelsAprox.cpp* que a partir d'un vídeo permet el seu etiquetatge tantes vegades com el nombre de repeticions que s'hagi escollit. L'estructura es divideix en dues parts: la primera consisteix a realitzar un rectangle a totes les *frames* del vídeo tantes vegades com el nombre de repeticions que s'hagi escollit, això permet obtenir diverses posicions centrals dels rectangles per una mateixa *frame* dels quals es calculen les mitjanes individuals de cada *frame* μ_{xi} i μ_{yi} i posteriorment les desviacions típiques individuals σ_{xi} i σ_{yi} . Un cop dibuixats tots els rectangles de les repeticions, es passa a la segona part que consisteix a dibuixar les fletxes, aquestes fletxes tenen com a punt origen la mitjana dels punts centrals dels rectangles trobada a la primera part. Igual que en el cas dels punts, es troba l'angle *yaw* mitjà individual μ_{yaw_i} per cada *frame* i posteriorment la desviació típica individual σ_{yaw_i} , al mateix temps es realitza el mateix procés pel mòdul de la fletxa obtenint: $\mu_{mòdul_i}$ i $\sigma_{mòdul_i}$. Finalment, els resultats finals són calculats fent la mitjana dels valors individuals i totes les dades mencionades són exportades a un fitxer "csv" delimitat per punts i coma.

Un cop desenvolupat, el programa ha estat aplicat a quatre vídeos de 8 *frames* cada un amb total de 15 repeticions, els quatre vídeos corresponen a una selecció de *frames* dels vídeos dels Conjunts *Original* i *Undistorted1* de les dues proves. La selecció de les 8 *frames* s’ha realitzat de tal forma que a cada *frame* apareguin persones diferents de forma intermitent a ordre d’aparició als vídeos dels Conjunts començant per la primera persona. En el cas dels vídeos de la primera prova com que al realitzar l’ordre intermitent no hi havia persones suficients per obtenir les 8 *frames* s’ha continuat per les persones no seleccionades en ordre invers. Pel que fa al número de *frame* individual de les persones seleccionades, aquesta ha anat creixent en 20 unitats segons l’ordre intermitent començant per la 45, d’aquesta manera com que la part de vídeo on apareix cada persona disposa de 250 *frames* s’obtenen imatges de diferents parts de les seqüències individuals evitant les entrades i sortides a les zones de captació.

Les taules dels fitxers “csv” exportats poden ser consultades a l’apartat B dels Annexos. A continuació, a la taula 6 es mostren els resultats finals obtinguts en aplicar el programa als diferents Conjunts de dades (unitats de píxels):

| Prova | Estat | σ_x | σ_y | σ_{yaw} | $\mu_{mòdul}$ | $\sigma_{mòdul}$ |
|--------|---------------------|------------|------------|----------------|---------------|------------------|
| Prova1 | <i>Original</i> | 1,336681 | 0,987613 | 1,428797 | 94,416617 | 12,340403 |
| Prova2 | <i>Original</i> | 1,125936 | 0,933837 | 2,629952 | 94,938928 | 13,645676 |
| Prova1 | <i>Undistorted1</i> | 1,537167 | 1,169144 | 2,064396 | 102,281587 | 16,263889 |
| Prova2 | <i>Undistorted1</i> | 1,298539 | 0,97802 | 3,101539 | 97,304432 | 15,170462 |

Taula 6: Resultats finals del programa labelsAprox.cpp

El següent pas un cop obtinguts aquests resultats és calcular les dimensions aproximades dels rectangles que engloben els caps de les persones a cada Conjunt per tenir-les de referència amb els intervals de confiança de cada Conjunt. El càlcul de les dimensions s’ha fet mitjançant la creació d’un simple programa anomenat *midRectSize.cpp* que permet fer la mitjana de les dimensions dels rectangles considerant aquestes dimensions independents de l’ordre, és a dir, es computen junts els valors més petits i més grans sense tenir en compte si es tracta de l’altura o l’amplada dels rectangles, d’aquesta manera com que el cap de les persones amb vista zenital normalment té una forma ovalada s’obtenen les mesures aproximades de forma independent a la direcció que està mirant la persona i s’evita que les mides curtes i llargues s’acabin compensant.

Els resultats obtinguts amb el programa *midRectSize.cpp* es mostren a la taula 7.

| Dimensió | Original p1 | Original p2 | Undistorted1 p1 | Undistorted1 p2 |
|----------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Llarga | 80,1145 | 81,1937 | 88,8345 | 86,6605 |
| Curta | 63,9258 | 68,8547 | 72,3365 | 73,4355 |

Taula 7: Dimensions mitjanes dels rectangles segons Conjunt

A partir de les distribucions obtingudes a la Taula 6, les dimensions mitjanes dels rectangles de la Taula 7 i segons la propietat de distribució de probabilitat al voltant de la mitjana de les distribucions normals [16] es possible estimar intervals de confiança pels Conjunts on tan sols afecta l'etiquetatge manual (veure figures 14 i 15), en el cas dels Conjunts *Undistorted2* cal esperar a l'addició de l'efecte diferència entre calibratges.



Figura 14: Intervals de confiança de l'etiquetatge en estat Original

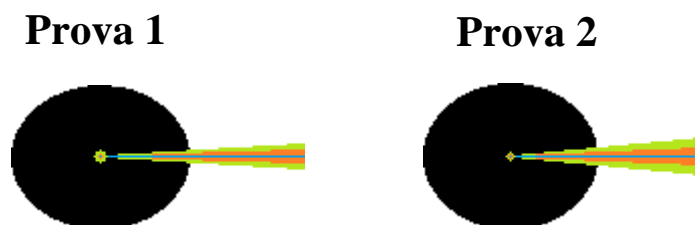


Figura 15: Intervals de confiança de l'etiquetatge en estat Undistorted1

Pel que fa a les figures 15 i 16, representen els caps mitjans de les persones en els diferents Conjunts a escala amb l'efecte d'etiquetatge manual en cada cas. Els punts centrats al cap de color blau i les línies blaves horitzontals representen els punts i angles mitjans o ideals, les zones de color taronja representen l'interval on s'acumula aproximadament el 68% dels etiquetatges i les zones de color verd aproximadament hi estan compresos el 95%.

Així doncs, es pot concloure que l'efecte d'etiquetatge manual és perfectament assumible en els Conjunts *Original* i *Undistorted1*, tan pel que fa al marcatge del punt central del cap com en el de l'angle *yaw*. Si s'observen els pitjors casos en el límit dels intervals on estan compresos aproximadament el 95% de la distribució (color verd), es pot veure com: En el cas del punt central (pitjor Conjunt Prova1 *Undistorted1*), es comet un error del 8% respecte a la dimensió mitjana llarga del cap i d'un 10% respecte a la curta. Pel que fa a l'angle (pitjor Conjunt Prova2 *Undistorted1*), es comet un error del 3% respecte als 180° contraris a l'angle *yaw* etiquetat.

Efecte diferència entre calibratges:

L'avaluació d'aquest efecte consisteix a considerar la diferència entre els dos calibratges realitzats com a distribucions normals, aquestes distribucions a diferència de l'anterior efecte no depenen de les proves realitzades. Per poder calcular aquestes distribucions, s'ha implementat el programa *distortAprox.cpp* el qual es basa a realitzar la mitjana de les diferències de cada punt *Original* corregit amb el primer i segon calibratge, posteriorment es calcula la seva desviació típica.

El funcionament del programa es basa en primer de tot obtenir com a mínim un fitxer de calibratge i les dimensions d'imatge (altura i amplada) que es vulguin, de forma opcional es pot incloure un segon fitxer de calibratge. Dels fitxers de calibratge introduïts com a argument d'entrada es carreguen a memòria les matrius de projecció i els coeficients de distorsió. A continuació, es creen dos bucles "for" que permeten recórrer totes les posicions de la suposada imatge (de dimensions introduïdes) on per cada una es calcula la nova posició a la imatge sense distorsió mitjançant la funció *undistortPoints* utilitzada anteriorment en el programa *routesUnistort.cpp* i es calcula la mitja distància entre la posició *Original* i la corregida. En cas de disposar del segon fitxer de calibratge es calculen també les segones noves posicions i es calculen les mitges diferències entre els punts *Originals* i entre les posicions corregides amb el primer calibratge. Tot seguit, es creen dos nous bucles "for" que tornen a recórrer la imatge aquest cop per calcular les distàncies a la mitjana. Finalment, es calcula la desviació típica per cada cas i es mostra per pantalla juntament amb la mitjana. Cal matissar que tan sols els punts corregits que es troben dins les dimensions de la imatge/sensor són considerats com a vàlids, i per tant tinguts en compte per calcular les mitjanes i desviacions estàndard.

Un cop desenvolupat, el programa va ser aplicat amb la dimensió d'imatge dels vídeos (640x480 píxels) juntament amb el primer i segon calibratges de càmera. Els resultats obtinguts són mostrats a la següent taula (unitats de píxel):

| Posicions A | Posicions B | μ_c | σ_c |
|---------------------|---------------------|---------|------------|
| <i>Original</i> | <i>Undistorted1</i> | 15,04 | 11,83 |
| <i>Original</i> | <i>Undistorted2</i> | 12,94 | 10,47 |
| <i>Undistorted1</i> | <i>Undistorted2</i> | 3,79 | 9,67 |

Taula 8: Resultats finals del programa distortAprox.cpp

Tal com es pot veure a l'última fila de la Taula 8, el resultat obtingut no és vàlid perquè la desviació típica és aproximadament tres vegades més gran que la mitjana. Una possible causa d'aquest resultat és que la forma utilitzada per avaluar l'efecte té en compte la totalitat de punts de les imatges. Això fa que els punts centrals de la imatge (els que realment afecten la majoria d'etiquetes) al tenir una distorsió no tan severa com les bores facin baixar la mitjana, en canvi, els extrems són els que la fan pujar juntament amb la desviació.

Per intentar solucionar aquest problema, s'ha fet una modificació al programa *distortAprox.cpp* que permet calcular el mateix però en comptes de fer-ho per tots els punts de la suposada imatge només ho fa pels punts etiquetats centrals als caps de les persones d'un fitxer de *routes.yml* (que són els que realment pateixen l'efecte). Per conservar l'antic programa, s'han realitzat les modificacions directament en un programa a part anomenat *distortAprox2.cpp*.

El programa *distortAprox2.cpp* ha estat aplicat amb el primer i el segon calibratges de càmera tant al fitxer de *routes.yml* del Conjunt *Original* prova2 com amb el mateix de la prova1 (veure resultats a les taules 9 i 10).

| Posicions A | Posicions B | μ_c | σ_c |
|---------------------|---------------------|---------|------------|
| <i>Original</i> | <i>Undistorted1</i> | 3,81 | 2,66 |
| <i>Original</i> | <i>Undistorted2</i> | 4,03 | 3,15 |
| <i>Undistorted1</i> | <i>Undistorted2</i> | 0,89 | 3,17 |

Taula 9: Resultats finals del programa distortAprox2.cpp al conjunt Original de la prova2

| Posicions A | Posicions B | μ_c | σ_c |
|---------------------|---------------------|---------|------------|
| <i>Original</i> | <i>Undistorted1</i> | 9,78 | 6,65 |
| <i>Original</i> | <i>Undistorted2</i> | 10,65 | 9,32 |
| <i>Undistorted1</i> | <i>Undistorted2</i> | 1,38 | 9,27 |

Taula 10: Resultats finals del programa distortAprox2.cpp al conjunt Original de la prova1

Les últimes files de les taules 9 i 10 mostren com mitjana ha baixat significativament respecte a la taula 8. En el cas de la taula 9 el canvi és molt notori fins i tot en la desviació típica, aquest fet és deu a què tal com s'ha dit anteriorment, els punts centrals dels caps de la prova2 a diferència dels de la prova1 es troben distribuïts a una zona més pròxima a l'eix central de la càmera.

Finalment, per obtenir els resultats dels mètodes, s'ha decidit utilitzar les etiquetes *Undistorted1* realitzades manualment per cada prova, com a etiquetes pel nou Conjunt *Undistorted2* tot i l'efecte entre calibratges addicional.

Capítol 4

4. Mètodes

En aquest capítol s'expliquen els dos mètodes sobre detecció d'atenció que han estat implementats en el present treball els quals es basen a analitzar atemporalment el moviment de persones dins un espai determinat mitjançant la utilització un gran nombre d'etiquetes amb el format descrit a l'apartat 3.2. Tots ells, incorporen una part per poder quantificar l'atenció total que ha estat donada a cada un dels objectes estudiats.

4.1. Mapa de zones

Mapa de zones és un mètode que tal com s'ha introduït anteriorment parteix d'un gran nombre d'etiquetes amb el format descrit a l'apartat 3.2, d'aquestes etiquetes només s'utilitza la informació referent a la posició central del cap i la component horitzontal de la direcció que està mirant la persona mitjançant l'angle *yaw*, tota aquesta informació és obtinguda a partir dels fitxers *routes.yml* que s'han descrit a l'apartat 3.2.

El principal objectiu d'aquest mètode és obtenir el nivell mitjà d'atenció corresponent a cada objecte avaluat mitjançant l'acumulació d'àrees d'atenció equiprobables. Per fer-ho, s'ha creat un mapa relatiu a la sala on es realitzaren les gravacions, el qual per cada etiqueta s'hi projecten les parts del camp visual de la persona considerades equiprobables que estigui fixant l'atenció en un punt. Les projeccions d'un gran nombre de parts de camps visuals i la seva acumulació fan possible una posterior identificació del nivell mitjà d'atenció per cada punt de la sala.

El mapa d'atenció on es realitzen les projeccions, és considerat idealment com un prisma rectangular buit, el qual conté una càmera zenital idealment situada en un punt dins el prisma, aquest mapa es mostra a la figura 16.

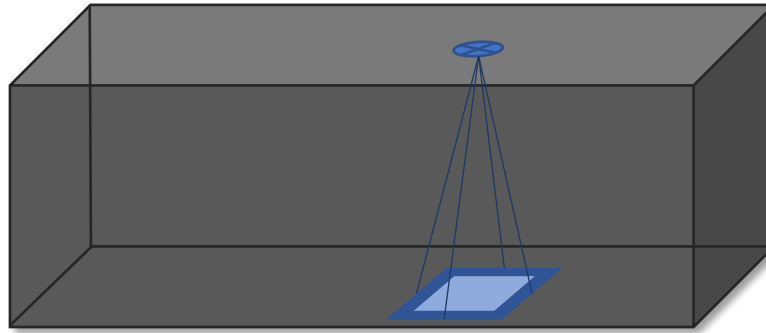


Figura 16: Mapa d'atenció relatiu a la sala

Per poder computar el nivell mitjà d'atenció del mapa, l'espai es divideix en tres zones: Terra, Pareds i Sostre. Com que en les proves de captació de vídeos realitzades a l'apartat 3.1 des del punt de vista humà en posició aixecada tots els objectes considerats d'interès estan situats a la zona del Terra tan sols es computa aquesta zona. La representació de la zona Terra correspon a una matriu de dimensions relatives a les del terra de la sala reals (llarg i ample de les dimensions de la figura 9), trobades aplicant les relacions píxel/metre (calculades a l'apartat 3.1).

En l'estat inicial, la part computada del mapa d'atenció (matriu de la zona Terra) té tots els seus valors a zero, ja que el prisma no ha estat visitat per cap persona. A continuació, es realitza la incorporació de cada etiqueta del fitxer *routes.yml* escollit seguint els següents passos:

- 1) Verificació que la posició de l'etiqueta està dins la zona de captació de la càmera.

Per verificar-ho, simplement es comprova que les components de la posició central del cap es troben dins de les dimensions de la resolució dels vídeos captats.

- 2) Obtenció de la posició de la persona dins la sala.

Per trobar la posició de la persona dins la sala es parteix del punt centrat al seu cap, aquest és referenciat respecte del centre de la imatge que es pren com a origen de coordenades. D'aquesta manera no és necessari conèixer en quin quadrant es troba el punt original. Per determinar la posició de la persona a la sala s'aplica el primer teorema de Tales entre l'altura del sensor, la de la persona i la posició captada centrada al seu cap (veure figura 17).

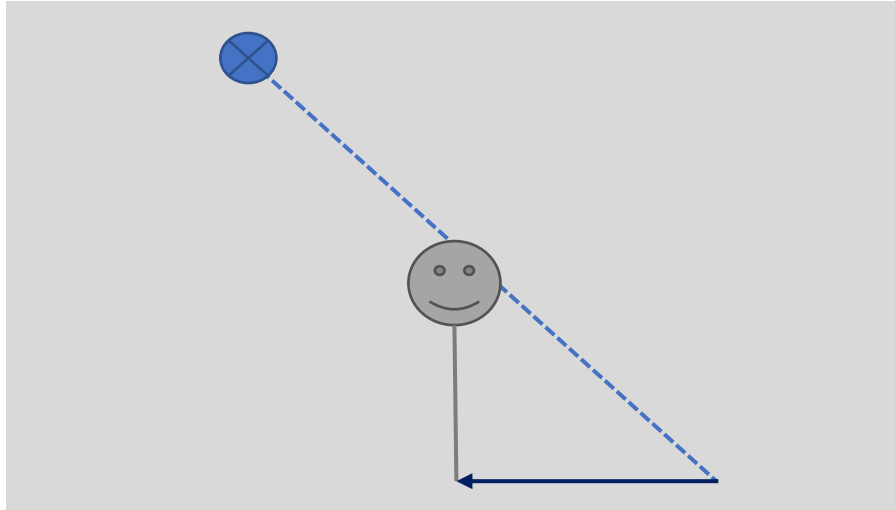


Figura 17: Esquema obtenció de la posició de la persona a la sala

La fórmula que permet obtenir la posició de la persona dins la sala és la següent:

$$p_p = p_c - \frac{H_p}{H_s} p_c$$

On:

- p_p és el punt 2D del terra on està situada la persona.
- p_c és el punt original 2D centrat al cap de la persona (etiquetat).
- H_p i H_s són l'altura de la persona i el sensor respectivament, les quals han estat redimensionades amb la mateixa relació píxel/metre que el mapa d'atenció, concretament la zona Terra.

Un cop realitzada l'obtenció de la posició, el punt p_p torna a ser referenciat al sistema de coordenades ortogonal de la imatge $S = \{O_s; u_s, v_s\}$ on O_s està situat al punt superior esquerre d'aquesta. A més la variable H_p passa a ser l'altura dels ulls de la persona restant la dimensió mitjana de front (0.14 metres) redimensionada amb la relació anterior.

3) Localització de l'etiqueta en coordenades de la sala.

Per localitzar l'etiqueta en coordenades de la sala s'aplica un desplaçament al punt corregit p_p de magnitud el valor de la posició O_s . Aquest està referenciat al sistema de coordenades ortogonal de la matriu referent a la zona Terra, $T = \{O_T; u_t, v_t\}$, on O_T

també està situat al punt superior esquerre de la zona i els eixos son paral·lels amb el sistema S de la imatge.

4) Projecció d'una part del camp visual a les zones del mapa.

Finalment, a partir del camp visual que la persona suposadament estava tenint en cada etiqueta, es realitza una projecció (al mapa d'atenció) de la part d'aquest camp visual que es considera equiprobable que la persona estigués fixant l'atenció en un punt i posteriorment s'acumulen el conjunt de projeccions.

Tal com s'ha dit anteriorment, tan sols han estat implementades les projeccions corresponents a la zona Terra del mapa. Les projeccions han estat realitzades tenint en compte quatre consideracions: que l'angle *roll* de totes les etiquetes és nul, és a dir, el cap de les persones no té inclinació *roll* en cap de les etiquetes, que l'angle *pitch* és equiprobable entre 65 i -60 graus considerant que l'angle inicial (0 graus) és quan la direcció normal a la cara de la persona és paral·lela al terra de la sala i creix en el sentit que la persona aixeca els braços, el marge vertical centrat a l'angle *pitch* i *yaw* el qual es considera equiprobable és de 25 graus i -30 graus (límit de discriminació del color segons [17]).

Finalment, segons l'angle horitzontal *hAngle* (escollit com a argument d'entrada) juntament amb la desviació típica mitjana de l'angle *yaw* σ_{yaw} (calculada a l'apartat 3.2.3) es forma un marge horitzontal centrat a l'angle *yaw*. Els dos marges anteriors delimiten la zona considerada equiprobable. La variable *hAngle* ha estat limitada a 114° [18], ja que és aproximadament el marge que els humans poden percebre informació amb visió binocular⁹.

A causa de la complexitat d'implementació d'aquest últim pas i per tal d'explicar-lo amb tot el detall necessari s'ha optat per dividir-lo en petits passos els quals s'apliquen a cada etiqueta (formada per un punt p_p referenciat a T i l'angle *yaw*).

a) Càlcul dels punts de les funcions limitadores de l'àrea projectada.

⁹ Visió binocular és un tipus de visió la qual utilitza dos ulls conjuntament.

En primer lloc, cal definir la funció “projecció” que es correspon a una funció 2D que delimita la part de la zona Terra de l’Àrea projectada considerada equiprobable:

$$y = \tan\left(\frac{hAngle}{2}\right) \sqrt{H_p^2 + x^2}$$

A continuació, es mostra un esquema explicatiu de la funció (veure figura 18).

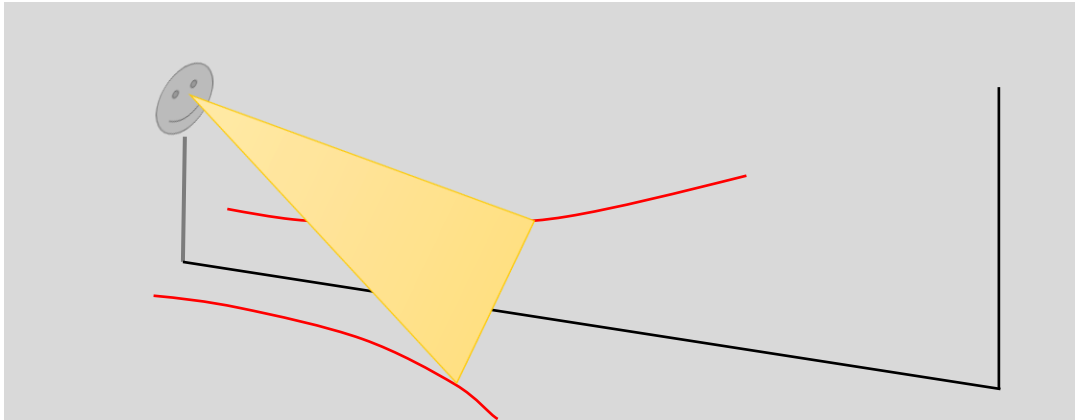


Figura 18: Esquema de les funcions limitadores de l’Àrea projectada

Tal com s’observa a la figura 18, a part de la funció projecció també cal tenir en compte la seva reflexió sobre l’eix perpendicular a la persona. Per obtenir els punts de les dues funcions, primer de tot es comença obtenint cada imatge de la funció projecció a partir de $x_p \geq 0$ amb el sistema de coordenades ortogonal de l’etiqueta $P = \{O_p; x_p, y_p\}$ on O_p correspon al punt p_p i l’eix antiimatge està definit per l’angle yaw . A cada punt N' obtingut, per tal d’aconseguir la seva representació amb el sistema de coordenades T se l’hi apliquen les transformacions següents:

$$N = V(RN' + T)$$

$$\begin{bmatrix} N_u \\ N_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} \cos(yaw) & -\sin(yaw) \\ \sin(yaw) & \cos(yaw) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N'_x \\ N'_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_{px} \\ p_{py} \end{bmatrix} \right)$$

On:

- R és la matriu de rotació 2D entre els sistemes.
- T és el vector de desplaçament entre els sistemes.
- V és la matriu inversora de l'eix imatge.
- N i N' és un punt referenciat en els sistemes T i P respectivament.

b) Verificació de la correcta posició dels punts i possible correcció.

Per cada punt N obtingut (precisió *double*) es comprova si alguna de les dues components es troba fora dels límits de la matriu de la zona Terra. En cas de no complir-se, es calcula la versió arrodonida del punt actual amb la funció *round* del mòdul *cmath* (llibreria llenguatge C) i es compara amb el punt anterior. En cas de ser diferents s'afegeix la versió arrodonida del punt actual al vector de punts *vpts* de la funció projecció, s'augmenta x_p en una unitat i es torna a computar un altre punt de la funció guardant abans el punt actual com a punt anterior. En cas de no complir la condició anterior, significa que la totalitat dels punts vàlids de la funció han estat computats a excepció de l'últim. Aquest últim cal trobar-lo calculant la intersecció entre la recta formada pel punt N anterior i actual i la recta entre els vèrtexs de la matriu de la zona Terra on hi ha la intersecció. Aquest procés, encara que no sigui provable podria haver de realitzar-se més d'una vegada.

La intersecció entre les dues rectes es troba mitjançant la funció implementada *findIntersection* la qual rep com a paràmetres el punt resultat de la intersecció (per referència) i els quatre punts que defineixen les dues rectes, com a resultat retorna *true* en cas que el sistema d'equacions tingui inversa i *false* en cas que no.

Un cop obtinguts els punts de la primera funció de projecció, es computen els de la funció reflexió sobre l'eix x_p , l'única diferència és que aquest cop es guarden en el vector *vpts2*.

c) Afegiment dels vèrtex participants en l'àrea projectada.

Com que és possible que l'àrea obtinguda es trobi enmig d'un vèrtex de la sala, cal comprovar la posició que es troben els últims punts considerats vàlids de les funcions computades i decidir la inclusió o no dels quatre vèrtexs de la sala. Per dur a terme aquest procés, primer es calcula la posició que tindrien els dos últims punts en un vector perímetre de la matriu de la zona Terra el qual comença des del vèrtex superior esquerre i va en sentit horari. Per realitzar el càlcul s'ha implementat la funció *getWallPosition* que rep com a paràmetres la variable resultat de la posició del punt sol·licitat al vector perímetre (per referència), el punt sol·licitat i les dimensions de la matriu de la zona Terra, a més, la funció retorna una variable de tipus *bool* per saber si la posició del punt al vector perímetre existeix o no. Un cop obtingudes les posicions al vector perímetre dels dos últims punts i dels quatre vèrtexs de la sala, simplement amb un seguit de condicions *if* i *else* es comprova quins vèrtexs es troben entremig dels dos límits i s'afegeixen al vector *vpts*.

Abans del quart pas, s'han afegit els punts del vector *vpts2* (funció “reflexió”) al *vpts*.

d) Dibuix de l'àrea projectada.

Per poder dibuixar l'àrea projectada a la matriu Terra, s'ha fet us de la funció *fillPoly* implementada al mòdul *core* de la llibreria OpenCV, la qual permet dibuixar l'àrea limitadora pels punts proporcionats. Els paràmetres obligatoris utilitzats en la funció *fillPoly* han estat: la matriu Terra (per referència), una taula de punts que representa el polígon a dibuixar, el número de vèrtex del polígon, el nombre de contorns, la variable *Scalar* inicialitzada a un canal i de valor unitari. A continuació es mostra una captura de l'àrea projectada per una etiqueta (veure figura 19).



Figura 19: Captura d'una àrea projectada

e) Càlcul de la distància entre la posició de la persona i els límits de la sala.

Abans de realitzar la normalització de l'àrea projectada cal calcular la distància existent entre la posició de la persona i els límits de la matriu de la zona Terra segons l'angle *yaw* etiquetat. Per fer-ho, es torna a fer servir la funció *findIntersection* aquesta vegada però per calcular els punts d'intersecció entre la recta formada per el punt p_p de la posició de la persona i l'angle *yaw* i les quatre rectes entre els vèrtexs consecutius de la matriu. Com a solució, per tant, s'obtenen quatre punts que són guardats en un vector anomenat *vplim3*, d'aquests punts només un és el que posteriorment ens permetrà calcular la distància. Tot seguit, s'aplica un "filtre" de tal forma que s'eliminen els punts del vector *vplim3* que no estàn situats en el perímetre de la matriu de la zona Terra fent que només quedin dos punts dins el vector. A continuació, per acabar de trobar el punt intersecció buscat, es comproven diferents escenaris referents al angle *yaw* com són: que el seu valor sigui 90 graus, que sigui 270 graus, que estigui entre 90 i 270 graus en sentit horari sense incloure els extrems i el mateix però entre 270 i 90 graus. A partir d'aquests escenaris s'acaba decidint el punt intersecció comparant una de les components de cada punt. Així doncs, la distància euclidiana finalment és calculada entre el punt p_p i el punt intersecció trobat.

f) Normalització de l'àrea projectada.

Per realitzar la normalització de l'àrea projectada cal calcular els pesos de probabilitat que corresponen a cada una de les zones (terra, parets i sostre), els pesos s'obtenen normalitzant l'angle "pitch" quan aquest es troba entre el límit de les zones tenint en compte que el valor inicial (0 graus) és quan la direcció es cap al terra i que l'angle màxim considerat és 180 graus, les fórmules que permeten calcular els pesos són les següents:

$$W_{terra} = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{distància}{H_p}\right)}{180}$$

$$W_{sostre} = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{distància}{altura\ sala - H_p}\right)}{180}$$

$$W_{parets} = 180 - W_{terra} - W_{sostre}$$

A continuació, es mostra un esquema explicatiu de les funcions (veure figura 20).

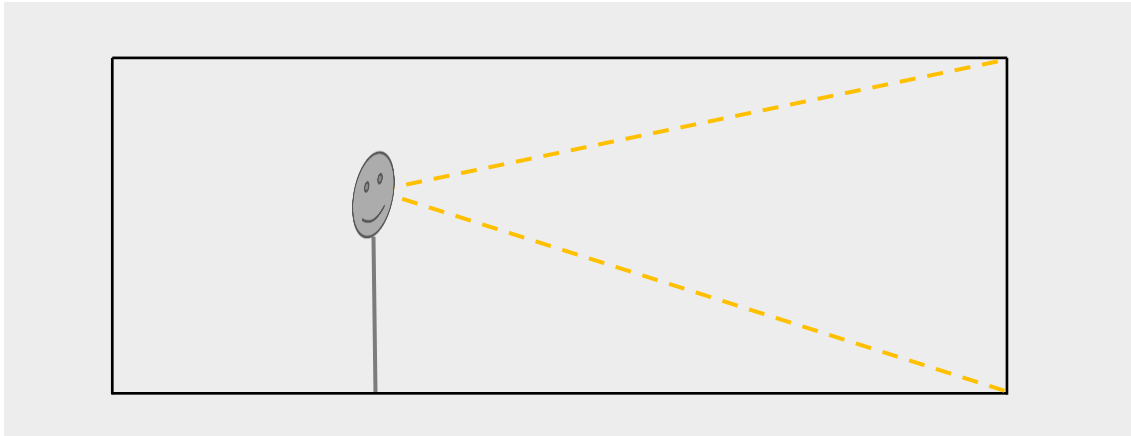


Figura 20: Límits entre les tres zones de la sala i la persona

Un cop calculats els pesos, aquests es divideixen pel nombre de punts que conformen l'àrea projectada de cada zona (calculat prèviament) i és substitueix el resultat a tots els punts de l'àrea projectada els quals havien estat inicialitzats al valor unitari (en aquest cas només a la zona Terra).

Finalment, l'àrea projectada és sumada a una matriu resultat (de les mateixes dimensions) la quan en finalitzar totes les etiquetes del fitxer de *routes.yml* escollit es normalitza dividint cada punt pel nombre d'etiquetes.

Tot el procés explicat ha estat desenvolupat en el programa *visualAreas.cpp*.

Extracció de resultats (Mapa de Zones)

La part d'extracció de resultats del mètode Mapa de Zones també ha estat implementada en el programa *visualAreas.cpp*, bàsicament aquesta part es pot dividir en dues etapes: càrrega de màscares a memòria i guardat de resultats (la part de càlcul i normalització es realitza implícitament en aquesta última).

L'etapa de càrrega de màscares és realitzada a l'inici del programa i consisteix en obtenir un conjunt de màscares corresponents als objectes que es volen avaluar, aquestes màscares han estat fetes prèviament amb el programa *objectSegmentation.cpp* (explicat al final d'aquest capítol). A continuació, es detallen els passos per la càrrega de màscares:

En primer lloc, es declara una estructura d'objecte anomenada *Obj* la qual conté una matriu (per guarda cada mascara) i una variable *string* (que contindrà el nom de l'objecte) juntament amb un vector d'aquestes estructures. En segon lloc, es crida a la funció implementada *addObjectMask* tantes vegades com el nombre d'objectes que es vulguin tenir en compte, aquesta funció permet carregar (passant per referència) els paràmetres de les estructures i disposa de dues modalitats: manual (s'introdueixen un per un els noms de les mascare desitjades) o automàtica (totes les màscare del directori introduït com a argument d'entrada al programa són carregades), aquesta última ha estat implementada gràcies a la classe *directory_iterator* pertanyent al mòdul *FileSystem* de Boost. Finalment, cada mascara és transformada per poder ser aplicada a una matriu de la zona Terra, això es fa mitjançant la situació de les mascare a la posició pertinent d'una matriu inicialitzada a zero i amb dimensions relatives a la zona Terra.

D'altra banda, l'etapa de guardat de resultats consisteix en un cop obtinguda la matriu a acumulació de totes les àrees projectades a la matriu de la zona Terra el programa pregunta si es volen guardar els resultats, en cas afirmatiu es crea un fitxer amb format YAML on es guarden els resultats i els valors de les variables més destacades utilitzades per obtenir-los. Els resultats són guardats en una taula anomenada *objects* que està formada per la puntuació i el nom de cada objecte.

En referència a l'obtenció de les puntuacions, primer s'obtenen les puntuacions originals mitjançant el sumatori de cada punt de la matriu acumulació un cop ha estat aplicada la màscara de l'objecte en qüestió. La puntuació normalitzada també és calculada dividint la puntuació original de l'objecte pel sumatori de les puntuacions de tots els objectes.

Un cop es van obtenir els primers resultats, es va veure que els objectes amb més superfície de màscara (valors diferents de zero) eren els que sempre obtenien les puntuacions més altes, per solucionar-ho, la puntuació original simplement va passar a ser normalitzada amb la superfície de màscara (veure *commit* d04eedb del repositori GitHub).

4.2. Assignació Permanent

Assignació Permanent és un mètode que tal com s'ha introduït anteriorment i igual que l'anterior parteix d'un gran nombre d'etiquetes amb el format descrit a l'apartat 3.2, d'aquestes etiquetes tan sols s'utilitza la informació referent a la posició central del cap i la component horitzontal de la direcció que està mirant la persona mitjançant l'angle yaw. L'objectiu principal d'aquest mètode és realitzar una estadística sobre els objectes avaluats per determinar quins han estat els que han cridat més l'atenció a la persona. Tanmateix, a diferència de l'anterior mètode aquest no té en compte l'àrea dels objectes i considera que la persona en tot moment focalitza l'atenció en un objecte exceptuant l'evidència d'impossibilitat.

El motiu principal de la realització d'aquest mètode ha estat que totes les persones participants en els vídeos de les proves del capítol anterior es fixaven en els objectes gairebé la totalitat del temps que estaven realitzant la prova, les excepcions normalment apareixen quan la persona entrava o sortia de la zona de captació perquè era el moment que desviava l'atenció per decidir cap on anar.

Els diferents passos que marquen el funcionament del mètode són els següents:

- 1) Obtenció de les màscares dels objectes.
- 2) Càlcul dels centres dels objectes.
- 3) Verificació que la posició de l'etiqueta és dins la zona de captació de la càmera.
- 4) Obtenció de la posició de la persona dins la sala.
- 5) Localització dels objectes en coordenades de l'etiqueta.
- 6) Realització o no de l'assignació a l'objecte.
- 7) Guardat de resultats.

En primer lloc, un cop obtinguts els arguments d'entrada i comprovats els diferents directoris es realitza la càrrega de màscares, aquesta tasca consisteix a escollir les màscares dels objectes que es volen avaluar les quals prèviament han estat creades utilitzant el programa explicat al final d'aquest capítol i situades dins el directori facilitat com a argument d'entrada *dir_obj_masks*.

El procés de càrrega és similar al de la primera etapa de la part d'extracció de resultats del mètode anterior tot i que amb algunes diferències al respecte com són: l'última part de redimensionament de les màscares per adaptar-les a les dimensions relatives de la zona Terra de la sala en aquest cas no és necessària i l'estructura d'objecte *Obj* passa a estar formada per un punt 2D on es guarda el seu centre (amb precisió *double*), una variable *string* on es guarda el seu nom i una variable de tipus *float* inicialitzada a zero on es realitzen les assignacions.

En segon lloc, per obtenir el punt central dels objectes avaluats es realitza el càlcul dels moments¹⁰ de cada màscara [19], per fer-ho s'utilitza la classe *Moments* pertanyent al mòdul *imgproc* de la llibreria OpenCV. El seu constructor rep com a paràmetres una matriu de tipus 2D (NxM) o (1xN o Nx1) de punts 2D i un booleà que indica si tots els píxels diferents de zero han de ser tractats com uns. Un cop calculats els moments, per obtenir el centre de l'objecte s'utilitzen els moments zero i primer: el moment zero es correspon al sumatori de tots els píxels de la màscara diferents de zero, en canvi, el moment primer té dues components i es calcula com el sumatori del valor de cada component multiplicada pel valor de cada píxel. El valor central de l'objecte finalment és obtingut de la següent forma:

$$C = \left(\frac{\mu_{1,0}}{\mu_{0,0}}, \frac{\mu_{0,1}}{\mu_{0,0}} \right)$$

On:

- C és el punt 2D del centre de l'objecte.
- $\mu_{1,0}$ i $\mu_{0,1}$ són les components del moment primer.
- $\mu_{0,0}$ és el moment zero.

En tercer i quart lloc, per cada etiqueta del fitxer *routes.yml* seleccionat cal verificar que la seva posició es troba dins la zona de captació de la càmera i obtenir la posició real de la persona dins la sala. Aquests dos passos coincideixen exactament amb els que han estat explicats en el mètode anterior Mapa de Zones.

¹⁰ Els moments d'una imatge són un conjunt de càlculs que permeten fer interpretacions d'aquesta, normalment s'apliquen sobre màscares d'objectes segmentats.

En cinquè lloc, abans de realitzar la decisió d'assignació als objectes i per tal de facilitar la implementació dels criteris d'elecció es referencien tots els punts que representen els centres dels objectes en coordenades de l'etiqueta. El sistema de coordenades de l'etiqueta $P = \{O_p; x_p, y_p\}$ és de tipus ortogonal i amb origen la posició p_p de la persona, l'eix d'abscisses ve definit per la posició de la persona i l'angle yaw . Per dur a terme el canvi de sistema a tots els objectes avaluats s'apliquen les següents transformacions:

$$N = VR(N' - T)$$

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(yaw) & -\sin(yaw) \\ \sin(yaw) & \cos(yaw) \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} N'_u \\ N'_v \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} p_{px} \\ p_{py} \end{bmatrix} \right)$$

On:

- R és la matriu de rotació 2D entre els sistemes.
- T és el vector de desplaçament entre els sistemes.
- V és la matriu inversora de l'eix imatge.
- N i N' és un punt referenciat en els sistemes P i S respectivament.

En sisè lloc, per tal de puntuar els objectes probables de ser mirats segons l'etiqueta actual s'apliquen les assignacions segons els criteris escollits. Primerament es consideren com a no vàlids aquells objectes que el seu centre es troba fora del marge de filtratge centrat a l'angle yaw , aquest marge ve donat per la suma entre l'angle de filtratge $fAngle$ introduït com a argument d'entrada i limitat a 114 graus (visió binocular humana) i l'angle error d'etiquetatge $eAngle$ també introduït com a argument d'entrada el qual és obtingut a l'apartat 3.3.

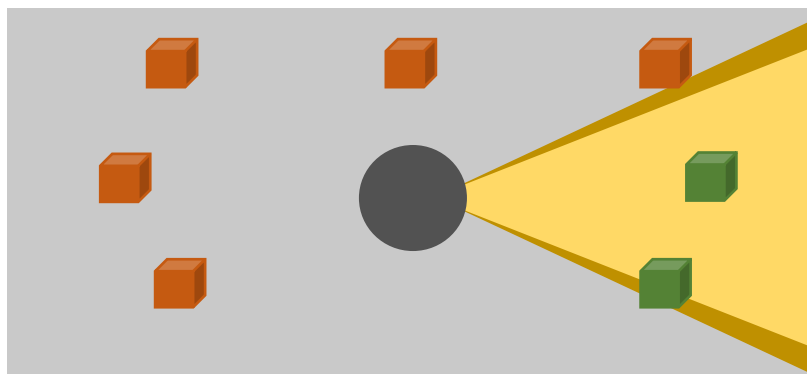


Figura 21: Marge de filtratge centrat a l'angle yaw

Un cop filtrats els objectes que tenen el centroide situat fora del marge limitant, es realitza l'assignació unitària. Per fer-ho, es reparteix el pes de l'assignació entre els objectes considerats vàlids de forma relativa a la diferència entre la meitat del marge de filtratge i l'angle entre els vectors O_pX i O_pC on X és un punt positiu de l'eix d'abscisses x_p i C és el centroide de l'objecte. El procediment per dur-ho a terme consisteix en primer calcular la suma de les diferències entre els angles i posteriorment per cada diferència d'un objecte vàlid calcular la seva part del pes. Finalment s'incrementa el nombre d'assignacions vàlides en un exceptuant el cas que no hi hagi cap objecte vàlid dins el marge limitant.

En setè i últim lloc, en cas de voler guardar els resultats es fa de forma molt similar a la de l'anterior mètode, és a dir, es crea un fitxer amb format la 1^a edició de l'estàndard de serialització YAML on es guarda una taula anomenada *objects* que en aquest cas conté el nom de l'objecte, el seu punt central i la puntuació d'atenció la qual és calculada dividint la variable *assignments* de l'objecte entre el nombre d'assignacions vàlides. A més a més, també es guarda informació rellevant sobre com ha estat obtinguda la puntuació com pot ser: relació píxel metre, angle de filtratge i error, altura de la persona, data i hora, nombre d'assignacions, etc.

Tot el procés explicat ha estat desenvolupat en el programa *objectAssignment.cpp*.

4.3. Segmentació d'objectes

La segmentació d'objectes és un procés necessari per poder utilitzar els mètodes anteriors que consisteix a generar màscares a partir d'una imatge, és a dir, com a resultat s'obté una imatge de les mateixes dimensions on tots els seus valors són zero excepte els punts on es troba l'objecte. Per generar les màscares s'ha implementat el programa *objectSegmentation.cpp* el qual una part ha estat basada en un codi d'exemple [20] de la llibreria OpenCV. Aquest programa permet la segmentació d'objectes amb dos modes diferents:

- **Automàtic:** El mode automàtic utilitza l'algoritme de segmentació *watershead* implementat com a funció dins el mòdul *improc* de la llibreria OpenCV. Aquest mode a nivell d'experiència d'usuari és ràpid d'utilitzar perquè només requereix marcar primer una part del fons i després una part de l'objecte. Tanmateix, segons el tipus d'objecte que es vol segmentar pot ser que no doni bons resultats, això passa quan l'objecte no té perfectament definits els seus límits o quan dins l'espai considerat com objecte hi ha límits que fan que l'algoritme no acabi de segmentar completament l'objecte.
- **Manual:** El mode manual a diferència de l'anterior aporta una experiència d'usuari relativament lenta perquè requereix haver de marcar la totalitat dels píxels considerats com objecte, tot i així, esdevé una forma consistent envers els tipus d'objectes que no donen bons resultats utilitzant el mode anterior.

A continuació, s'explica el funcionament del programa a trets generals:

En primer lloc, s'obtenen els arguments d'entrada que són: la ruta a la imatge on es troba l'objecte que es vol segmentar, el nom que es vol donar a la màscara, l'altura total a la qual es troba l'objecte (consultar apartat C dels Annexos) i la relació píxel metre. En segon lloc, es llegeix la imatge de la ruta facilitada amb tres canals BGR¹¹ i profunditat de 8 bits i se'n fa dues còpies on la primera s'utilitza per contenir la informació de les zones marcades per l'usuari i la segona per situar textos informatius abans de ser mostrada per pantalla per tal de fer el programa més interactiu. Tot seguit, es crea una matriu anomenada *markerMask* que serveix per tenir constància de les zones marcades per

¹¹ BGR és un model de color similar a RGB (vermell, verd i blau) on els canals primer i últim estan invertits.

l'usuari, aquesta matriu s'inicialitza amb tots els seus valors a zero (cap zona marcada) i disposa de les mateixes dimensions i profunditat que la imatge però tan sols un canal.

En tercer lloc, es crea i s'inicialitza el vector *vexp* de nombres de 8 bits sense signe el qual serveix per contenir les dimensions del gruix de les marques que realitza l'usuari les quals s'expliquen més endavant. La inicialització d'aquest vector es realitza amb l'arrodoniment dels resultats obtinguts a partir d'una potència de base 1.4 donant valors a l'exponent des de zero fins que el resultat arrodonit sigui més petit que 256, el motiu d'escollir la base 1.4 ha estat relativament trivial, ja que es va veure que amb aquesta base no creixia excessivament de pressa i es podien obtenir bastants valors abans de superar el límit de 256, aquest límit ve donat pel paràmetre de gruix de la funció *line* que s'utilitza per fer les marques.

En quart lloc, s'activa un *handler*¹² del ratolí que fa que cada cop que aquest envia un senyal s'executi la rutina *onMouse*, aquesta rutina ha estat programada perquè faci diferents tasques segons el tipus d'esdeveniment:

- 1) **Prémer botó esquerre:** En aquest cas tan sols es guarda el punt corresponent al píxel on s'ha clicat com a punt previ.
- 2) **Moviment i botó esquerre premut:** En aquest cas, si el punt actual és diferent del previ, es dibuixa una línia blanca des del punt previ fins al punt actual amb la funció *line* a la primera còpia de la imatge i a la *markerMask*. La primera còpia és clonada a la segona, segons l'estat actual s'introdueix un text d'informació (segons l'estat del programa) i es mostra per pantalla.
- 3) **Deixar botó esquerre:** En aquest cas es quantifica el nombre de contorns de la matriu *markerMask* amb la funció *findContours* del mòdul *imgproc*, si el nombre de contorns és diferent d'1 o 2 es fa un "reset" per tal de tornar a l'estat inicial com si no s'hagués fet cap marca.

En quart lloc, al mateix temps que el *handler* del ratolí està en funcionament i l'usuari realitza les marques el programa principal es troba pausat dins un bucle infinit esperant que l'usuari premi una tecla que és obtinguda mitjançant *waitKey(0)*. L'opció resultant

¹² Un *handler* es un sistema que permet ocupar-se de senyals específiques d'un sistema executant una rutina de forma asíncrona al programa principal.

de prémer una tecla fa que s'executi una part de codi en cas que coincideixi amb les opcions següents:

- **Tecla “ESC”:** Finalitza el programa.
- **Signe negatiu (-):** Disminueix en una unitat l'índex utilitzat com a gruix per la funció de dibuix de línies en cas que aquest sigui més gran que zero.
- **Signe positiu (+):** Augmenta en una unitat l'índex en cas que aquest no es trobi al final.
- **Lletra “r”:** Realitza un “reset” per tornar a l'estat inicial com si no s'hagués fet cap marca
- **Lletra “m”:** Canvia de mode manual a automàtic i a la inversa.
- **Tecla “espai”:** S'obté la màscara final *mres* segons les marques realitzades a la matriu *markerMask* i el mode utilitzat.

En cinquè lloc, un cop pressionada la tecla “espai” per poder calcular la màscara final *mres*, primerament es comprova quin mode està activat. En cas d'estar activat el mode manual la matriu *markerMask* passa a ser de forma directa la mascara resultant *mres*. En canvi, si està activat el mode automàtic, primer es calculen els contorns de la matriu *markerMask* amb la funció *findContours* si el nombre de contorns és superior a 2, es realitza un “reset” i se surt de l'opció, en cas contrari es continua creant una matriu anomenada *markers* amb precisió *float* inicialitzada a zero on es dibuixa amb la funció *drawContours* els contorns trobats anteriorment cada un amb un valor enter diferent. Tot seguit, la matriu *markers* és passada per referència juntament amb la imatge original a la funció *watershead* que s'encarrega de realitzar la segmentació, com a resultat modifica la matriu *markers* de tal forma que els contorns entre les regions segmentades valen -1 i les regions queden marcades segons el seu valor enter. A continuació, a partir de la matriu *markers* modificada s'extreu la matriu resultant *mres* extraient la regió corresponent a l'objecte segmentat.

En sisè lloc, un cop obtinguda la màscara original *mres* de l'objecte segmentat (valor 255 on es troba l'objecte i 0 la resta), es calcula la mascara *mres_c* que correspon a la projecció de la mateixa al terra de la sala segons l'altura proporcionada com a argument, el càlcul es fa de la mateixa forma que la correcció de la posició de la persona dins la sala dels mètodes anteriors. Finalment, les dues matrius poden ser guardades amb format PNG sense compressió.

Més tard, durant la utilització del programa es va veure que era necessari segmentar els objectes dels escenaris corresponents als vídeos en estat *Original*, *Undistorted1* i *Undistorted2*, aquest fet provocava haver d'etiquetar tres vegades el mateix objecte a part que les mascarees obtingudes amb el mode manual serien realitzades de forma independent en cada estat, això faria que una possible comparació dels resultats obtinguts amb els mètodes anteriors fos qüestionada per la forma de realitzar les diferents mascarees. Per poder solucionar-ho, es va decidir implementar una nova funcionalitat paral·lela al funcionament principal del programa (veure *commit 7be506f* del repositori GitHub), aquesta funcionalitat permet obtenir les mascarees dels objectes pertanyents als escenaris dels vídeos en estat *Undistorted1* i *Undistorted2* mitjançant una sola segmentació dels objectes en l'estat *Original*, a continuació s'explica el procediment:

En primer lloc, s'incorporen dos nous arguments opcionals d'entrada al programa que són: la direcció al fitxer PNG corresponent a la màscara sense correcció de posició d'un objecte de l'escenari pertanyent a un vídeo *Original* i el fitxer de calibratge que es vol utilitzar per obtenir la mascara resultant.

En segon lloc, en cas que s'hagi introduït una mascara però no el fitxer de calibratge s'utilitza la mascara per reutilitzar-la permetent la seva millora. Per tal d'actualitzar la part marcada que veu l'usuari s'utilitza la funció *bitwise_or* pertanyent al mòdul *core* de OpenCV la qual permet aplicar la disjunció lògica entre cada bit de cada element de dues matrius, això és possible aplicant-ho a cada canal de la primera copia de la matriu imatge.

En tercer lloc, en cas que s'introdueixin els dos arguments (màscara i fitxer de calibratge) s'extreu la matriu de projecció i els coeficients de distorsió del fitxer de calibratge i es corregeix la distorsió d'imatge de la màscara introduïda mitjançant la funció *undistort*. Com que la correcció de la distorsió d'imatge implica situar fora de la zona del sensor alguns punts *Originals* quan s'obté la imatge corregida alguns punts no tenen valor, per tant per no deixar píxels sense valor es realitza una aproximació que concretament la funció utilitzada fa servir la de tipus bilineal; el fet d'haver de realitzar aquesta interpolació provoca que alguns valors de la mascara obtinguda no siguin 0 o 255, per solucionar aquest problema s'ha aplicat una "binarització" amb un llindar de 128 utilitzant la funció *threshold* pertanyent al mòdul *imgproc* de OpenCV. Finalment, s'aplica la projecció de la màscara i es poden guardar les dues imatges de la mateixa forma que abans.

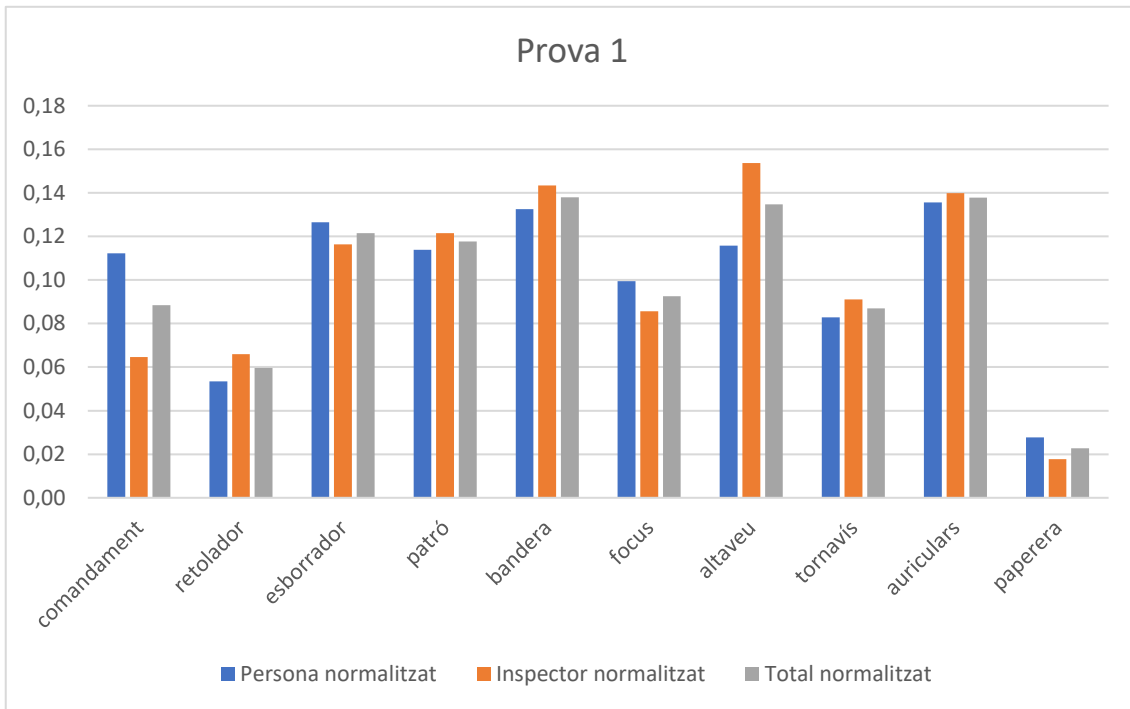
Capítol 5

5. Resultats

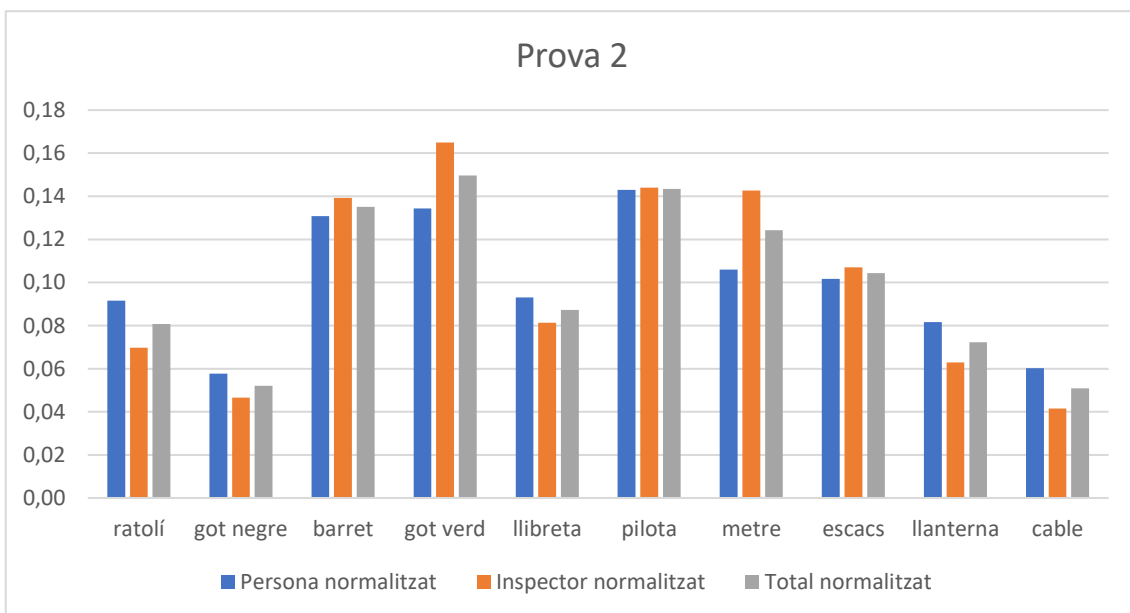
En aquest capítol, s'exposen els resultats obtinguts en relació a l'aplicació dels dos mètodes del capítol anterior juntament amb un tercer de l'empresa Venco als Conjunts de dades del capítol 3. Tots els mètodes utilitzats es basen a estimar el nivell mitjà d'atenció aportat per les persones participants en els objectes considerats d'interès a l'apartat 3.1 donant una puntuació a cada un d'ells on el còmput total és normalitzat a la unitat.

Primer de tot, es fa una revisió de les estadístiques que s'utilitzaran per avaluar els mètodes. Tal com es va informar en el capítol 3, en el moment de captació dels vídeos es realitzaren dos tipus d'estadístiques: les aportades per la persona en finalitzar la prova i les generades per l'inspector durant la realització d'aquesta. Un cop finalitzades les proves, es van voler calcular tres mitjanes de les estadístiques: la mitjana referent a les opinions de les persones participants, la mitjana referent a les dades generades per l'inspector i en darrer lloc la mitjana total que engloba les dues anteriors. Per poder realitzar les tres mitjanes, era necessari que cada persona aportés el mateix pes, per tant, totes les etiquetes van haver de ser normalitzades primer calculant el sumatori de les puntuacions donades a cada objecte i després dividint cada puntuació dels objectes pel valor obtingut. Les estadístiques originals i normalitzades poden ser consultades a l'apartat A dels Annexos.

A continuació, es mostren dos gràfics de barres per cada prova corresponents a les mitjanes de les estadístiques realitzades a cada una les quals permeten comparar la semblança entre la part aportada per les persones, la de l'inspector i la que té en compte les dues anteriors.



Gràfic 1: Mitjana de les estadístiques normalitzades de la prova 1



Gràfic 2: Mitjana de les estadístiques normalitzades de la prova 2

Tal com es pot veure en els dos gràfics anteriors, les mitjanes de les estadístiques de les persones i les de l'inspector coincideixen bastant, això és un fet positiu, ja que dóna a entendre que les opinions de les persones sobre l'interès aportat pels objectes coincideixen amb les dades de l'inspector que igual que els mètodes tan sols es basen a estimar el nivell d'atenció que presta la persona a cada objecte a partir del temps que els està mirant.

Abans de comparar els mètodes entre ells, s'han calculat resultats de forma individual. Pel que fa als mètodes Mapa de Zones i Assignació Permanent, s'han utilitzat diferents valors de l'angle horitzontal o filtratge (114, 60, 40, 20, 10 i 6 graus) pels Conjunts *Original* i *Undistorted1*. En el cas del Mètode de Venco, tan sols ha estat possible aplicar el programa *extractResults.cpp* a les matrius de resultats facilitades, aquest programa es correspon totalment amb la part d'extracció de resultats del mètode Mapa de Zones.

Els resultats obtinguts han estat comparats amb els valors de les estadístiques totals normalitzades mitjançant el càlcul de la suma de les diferències en valor absolut de cada resultat (apartat D dels Annexos). Finalment, després de valorar les sumes de les diferències i gràfics diferents angles s'han extret les següents conclusions:

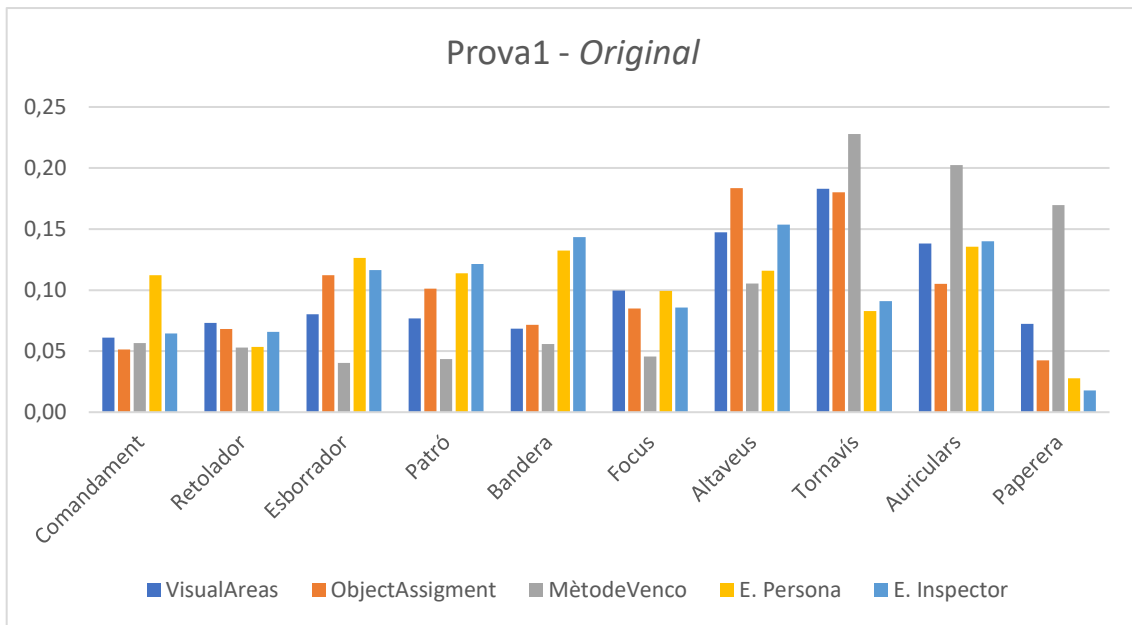
- **Assignació Permanent:** s'ha vist com en la prova1 s'obtenen millors resultats quan s'amplia l'angle de filtratge havent-hi uns marges de 0.23 i 0.18 sobre 2 entre la suma de diferències dels millors angles (114° i 60°) i els pitjors (6° i 6°) entre els Conjunts *Original* i *Undistorted1* respectivament. En canvi, en la prova2 s'ha vist una tendència contrària però en aquest cas el marge entre els millors (20° i 20°) i els pitjors (114° i 114°) es de tan sols 0.08 i 0.07 respectivament. Tot i la tendència contrària, s'ha decidit que l'angle de filtratge utilitzat per comparar aquest mètode amb els altres sigui 114°, ja que és l'angle que aproximadament limita la visió binocular [18].
- **Mapa de Zones:** s'ha vist també com en la prova1 s'obtenen millors resultats en ampliar l'angle horitzontal però en aquest cas tan sols amb uns marges de 0.09 i Y sobre 2 entre la suma de diferències dels millors angles (114° i 60°) i els pitjors (6° i 6°) entre els Conjunts *Original* i *Undistorted1* respectivament. En canvi, en la prova2 gairebé sempre la suma de les diferències ha resultat ser igual amb marge entre els millors (20° i 20°) i els pitjors (114° i 114°) és de tan sols 0.08 i 0.07 respectivament. Finalment, s'ha decidit que l'angle horitzontal utilitzat per comparar aquest mètode amb els altres sigui 40°, ja que és l'angle que aproximadament limita la possibilitat de reconeixement de símbols [18] i per tant és un bon angle per indicar que el que s'està observant és equiprobable.

Ara sí, pel que fa a la comparació dels mètodes, aquesta es fa de forma gràfica i conjuntament amb les dues mitjanes separades de les estadístiques per facilitar-ne la comparació. A continuació, es mostren els resultats separats per Conjunts:

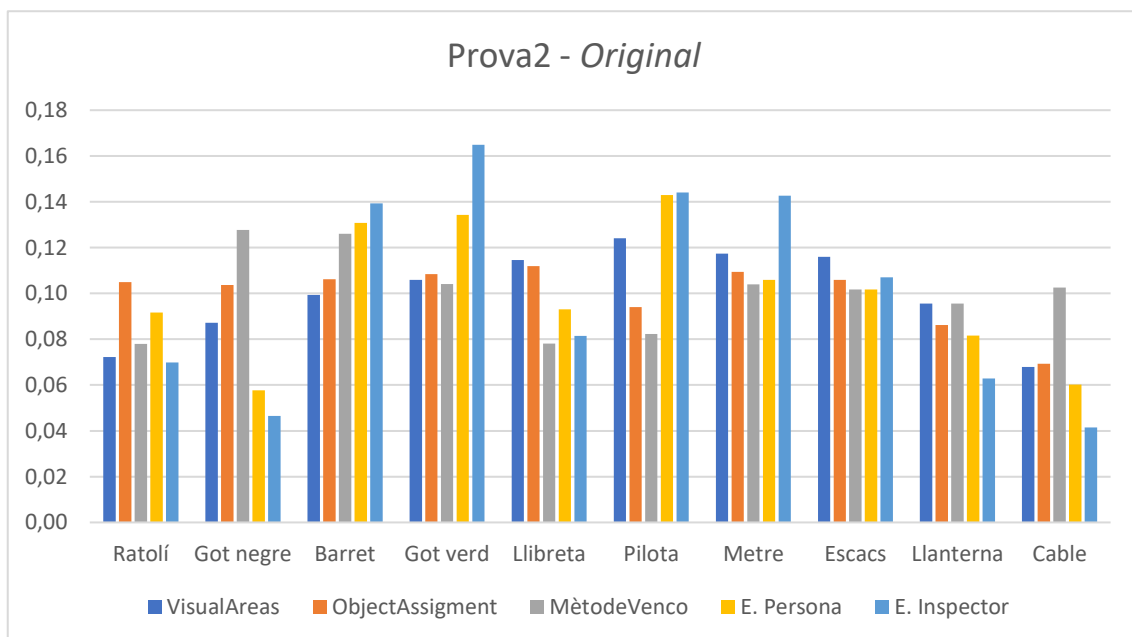
Conjunt Original :

| Mètode | Prova | Angle h/f | Relació (RPM) | Angle error | Altres arguments |
|----------------------|-------|-----------|------------------|-------------|------------------|
| Mapa de Zones | 1 | 40 graus | 130.0813 píxel/m | 2.9 graus | Per defecte |
| Assignació Permanent | 1 | 114 graus | 130.0813 píxel/m | 2.9 graus | Per defecte |
| Mètode Venco | 1 | - | 130.0813 píxel/m | - | - |
| Mapa de Zones | 2 | 40 graus | 130.0813 píxel/m | 5.3 graus | Per defecte |
| Assignació Permanent | 2 | 114 graus | 130.0813 píxel/m | 5.3 graus | Per defecte |
| Mètode Venco | 2 | - | 130.0813 píxel/m | - | - |

Taula 11: Paràmetres de configuració dels mètodes del Conjunt Original



Gràfic 3: Resultats prova1 referents a la Taula 11

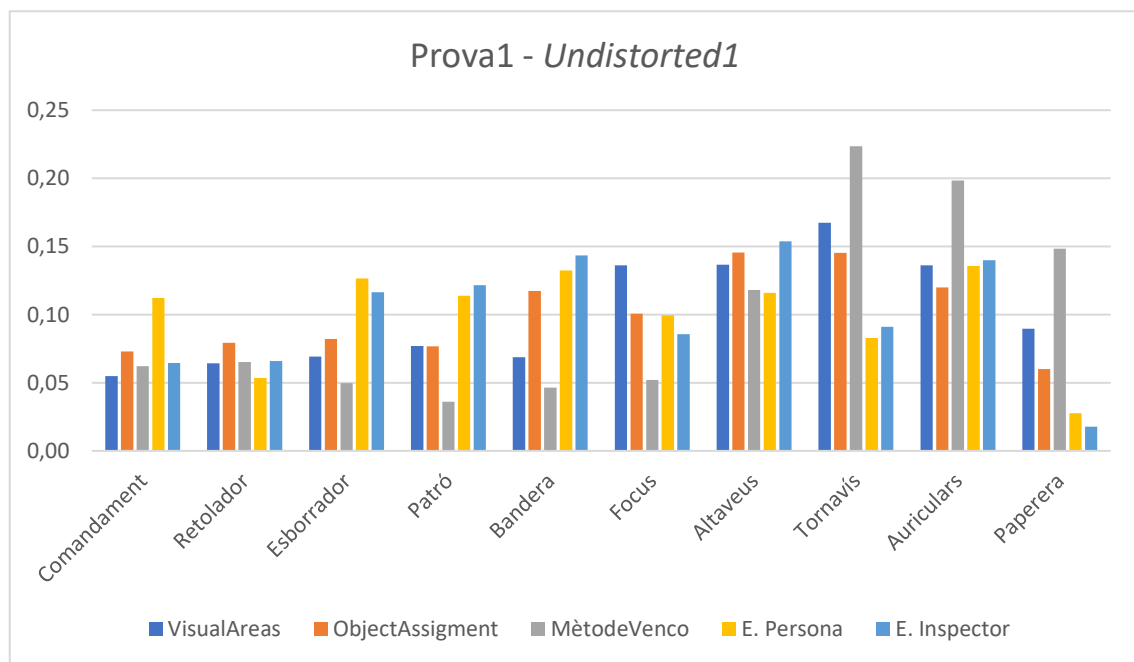


Gràfic 4: Resultats prova2 referents a la Taula 11

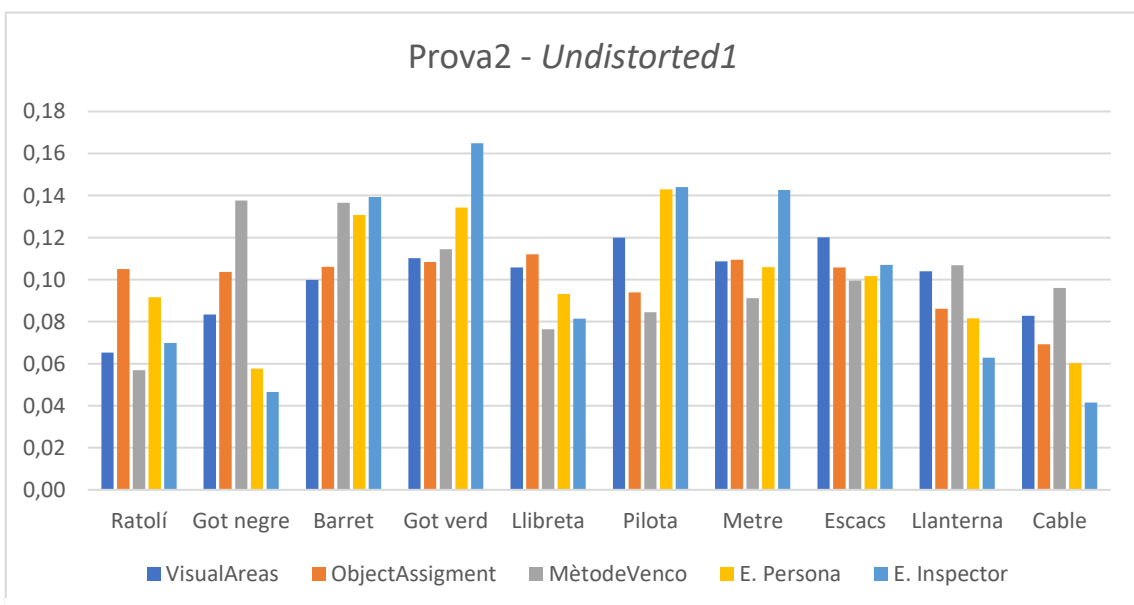
Conjunt *Undistorted1*:

| Mètode | Prova | Angle h/f | Relació (RPM) | Angle error | Altres arguments |
|----------------------|-------|-----------|-----------------|-------------|------------------|
| Mapa de Zones | 1 | 40 graus | 180.7909píxel/m | 4.1 graus | Per defecte |
| Assignació Permanent | 1 | 114 graus | 180.7909píxel/m | 4.1 graus | Per defecte |
| Mètode Venco | 1 | - | 180.7909píxel/m | - | - |
| Mapa de Zones | 2 | 40 graus | 180.7909píxel/m | 6.2 graus | Per defecte |
| Assignació Permanent | 2 | 114 graus | 180.7909píxel/m | 6.2 graus | Per defecte |
| Mètode Venco | 2 | - | 180.7909píxel/m | - | - |

Taula 12: Paràmetres de configuració dels mètodes del Conjunt *Undistorted1*



Gràfic 5: Resultats prova1 referents a la Taula 12

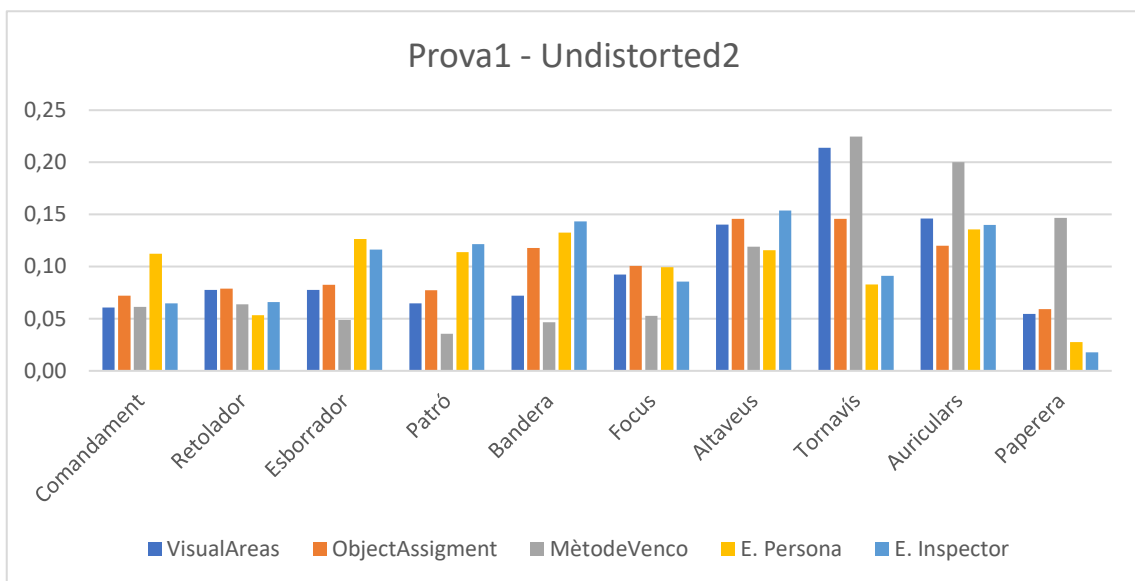


Gràfic 6: Resultats prova2 referents a la Taula 12

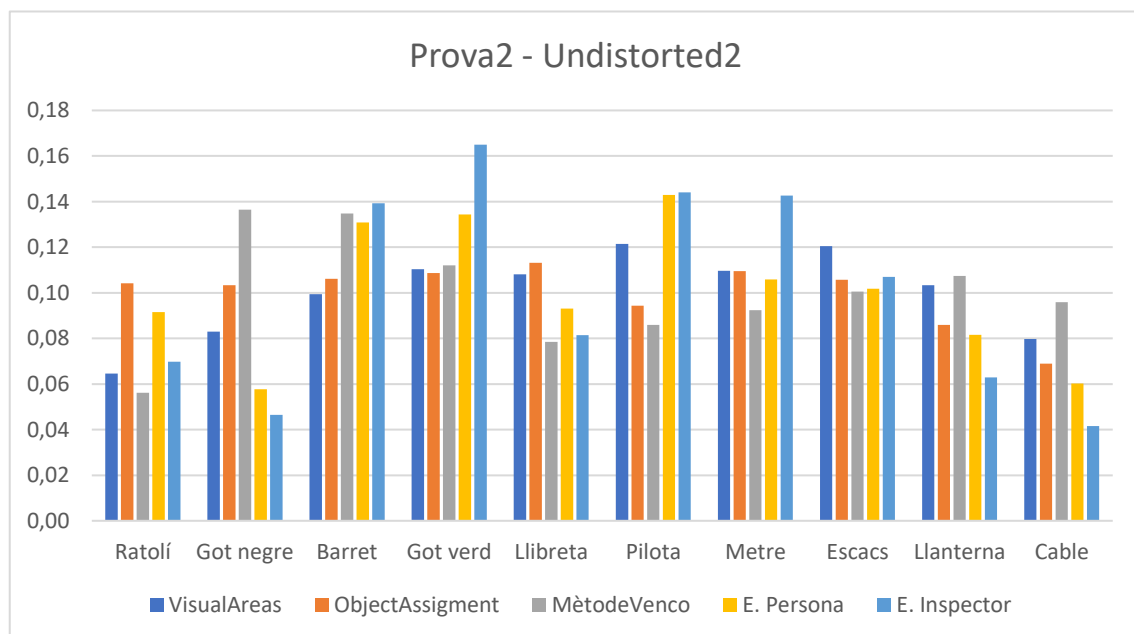
Conjunt Undistorted2:

| Mètode | Prova | Angle h/f | Relació (RPM) | Angle error | Altres arguments |
|----------------------|-------|-----------|-------------------|-------------|------------------|
| Mapa de Zones | 1 | 40 graus | 172.9729 píxels/m | 4.1 graus | Per defecte |
| Assignació Permanent | 1 | 114 graus | 172.9729 píxels/m | 4.1 graus | Per defecte |
| Mètode Venco | 1 | - | 172.9729 píxels/m | - | - |
| Mapa de Zones | 2 | 40 graus | 172.9729 píxels/m | 6.2 graus | Per defecte |
| Assignació Permanent | 2 | 114 graus | 172.9729 píxels/m | 6.2 graus | Per defecte |
| Mètode Venco | 2 | - | 172.9729 píxels/m | - | - |

Taula 13: Paràmetres de configuració dels mètodes del Conjunt Undistorted2



Gràfic 7: Resultats prova1 referents a la Taula 13



Gràfic 8: Resultats prova2 referents a la Taula 13

Tal com s'ha pogut observar en els gràfics anteriors i en els resultats individuals de l'apartat D dels Annexos, el fet de corregir la distorsió d'imatge gairebé no ha modificat les puntuacions obtingudes pels diferents mètodes.

Un altre aspecte que es pot comprovar a l'apartat D, és que la normalització per superfície en els mètodes que disposaven de matriu acumulació (Mapa de Zones i Mètode de Venco) és una qüestió indispensable, ja que de no fer-ho els objectes amb una major superfície sempre obtenen les puntuacions més altes.

Pel que fa a la comparació de mètodes, es pot afirmar que el que ha obtingut millors resultats en les dues proves ha estat el d'Assignació Permanent seguit del de Mapa de Zones i finalment el de Venco. Si s'analitzen les sumes de les diferències de les proves per separat (apartat D dels Annexos) es poden veure els següents resultats:

| Mètode | Prova1 (11 persones) | Prova2 (20 persones) |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Assignació Permanent | 0,27 | 0,27 |
| Mapa de Zones | 0,38 | 0,25 |
| Mètode Venco | 0,67 | 0,32 |

Taula 14: Comparació de mètodes amb les estadístiques globals mitjançant la mitjana entre els resultats de les sumes de les diferències en els diferents Estats utilitzant els paràmetres especificats a les Taules 11, 12 i 13.

Capítol 6

6. Conclusions i treball futur

Per començar, es fa una valoració dels resultats obtinguts pels mètodes avaluats:

- L'anàlisi que s'ha realitzat pels tres mètodes, ha resultat ser una nova forma per classificar els objectes segons el nivell d'interès generat als participants.
- El mètode Assignació Permanent és el que ha obtingut uns resultats més pròxims a les estadístiques globals realitzades a la primera part.
- La correcció de la distorsió d'imatge dels Conjunts de dades generats a la primera part gairebé no ha afectat les puntuacions finals obtingudes pels diferents mètodes. D'altra banda, el fet de canviar de prova sí que ha tingut un efecte més notori en els mètodes Mapa de Zones i Mètode de Venco, les sumes de diferències respecte a les estadístiques globals en la segona prova han millorat aproximadament el doble respecte la primera, per contra, el d'Assignació Permanent s'ha mantingut les sumes de diferències iguals.
- Pel que fa a l'execució dels mètodes desenvolupats, el de Mapa de Zones és molt més costós computacionalment i més lent que el d'Assignació Permanent, això és deu al fet que per obtenir cada projecció de la matriu acumulació és necessari fer un gran nombre d'operacions.

Seguidament, es detallen les tasques realitzades en aquest treball:

- Captació i etiquetatge amb èxit de diversos vídeos referents al moviment de persones dins un espai amb objectes d'interès, els quals han servit per obtenir diversos Conjunts de dades.
- Realització de dos calibratges de càmera amb els que s'ha pogut corregir la distorsió d'imatge present en els vídeos captats. Amb tot i això, no ha estat possible obtenir unes etiquetes amb precisió manual pels vídeos corregits amb el segon calibratge.
- Avaluació de la qualitat de les etiquetes dels diferents Conjunts.

- Disseny i desenvolupament de dos mètodes per la detecció d'atenció a partir dels conjunts de dades generats.
- Implementació d'un gran nombre programes addicionals (visió d'etiquetatges, valoració de la qualitat dels etiquetatges, generació de màscares d'objectes, etc.).
- Avaluació i comparació dels mètodes desenvolupats juntament amb el de l'empresa Venco.

Respecte a l'àmbit personal, aquest treball m'ha ajudat a millorar en temes com la programació amb llenguatge C++, la utilització de llibreries externes, la familiarització amb la línia d'ordres de Linux i la recerca autònoma d'informació.

Futures línies de treball

En cas d'utilitzar la base de dades generada:

Implementació d'un nou mètode semblant al de Mapa de Zones però on la part de càlcul fos realitzada implícitament (sense necessitat d'haver de crear una matriu acumulació) i on les màscares utilitzades no fossin immòbils sinó que per cada etiqueta es calculés la projecció 3d respecte de la persona. Aquest mètode va ser pensat, però no implementat per falta de temps.

Programa de detecció automàtica dels punts centrals del cap de persones en els vídeos, permetent la verificació amb les etiquetes manuals.

En el cas de captar nous vídeos:

Si es decideix muntar un escenari similar als de les proves del present treball, seria interessant valorar la possibilitat que els objectes d'interès estiguessin situats a l'altura aproximada de les persones participants, aquest fet minimitzaria les variacions de l'angle *pitch* i per tant, faria més fàcil l'etiquetatge de l'angle *yaw*.

Utilització de tecnologia Kinect per tal de mesurar l'altura de les persones.

Utilització de més càmeres per tal de millorar la detecció dels tres angles que defineixen les orientacions del cap humà en l'espai 3d. No obstant, aquesta proposta provocaria un augment de la complexitat del sistema.

Bibliografía

- [1] J. H. Kim and B. K. Koo, “Convenient calibration method for unsynchronized multi-camera networks using a small reference object,” *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, vol. 20, no. 23, pp. 438–444, 2012.
- [2] O. Objects, Z. Zhang, and S. Member, “Camera Calibration with,” vol. 26, no. 7, pp. 892–899, 2004.
- [3] R. Y. Tsai, “A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses,” *IEEE J. Robot. Autom.*, vol. 3, no. 4, pp. 323–344, 1987.
- [4] J. Heikkila and O. Silven, “A four-step camera calibration procedure with implicit image correction,” *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 98, no. 93, pp. 1106–1112, 1997.
- [5] Z. Zhang, “A Flexible New Technique for Camera Calibration (Technical Report),” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 22, no. 11, pp. 1330–1334, 2002.
- [6] E. E. Hemayed, “A survey of camera self-calibration,” *Proc. - IEEE Conf. Adv. Video Signal Based Surveillance, AVSS 2003*, pp. 351–357, 2003.
- [7] J. G. Jiménez, *Visión por Computador*. Paraninfo, 1999.
- [8] “Refracción - Wikipedia, la enciclopedia libre.” [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Refracción>. [Accessed: 26-Mar-2017].
- [9] G. Bradski and A. Kaehler, *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*, vol. 1. 2008.
- [10] “Optical aberration - Wikipedia, la enciclopedia libre.” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_aberration#Monochromatic_aberrations. [Accessed: 28-Mar-2017].

- [11] J. Weng, P. Coher, and M. Herniou, “Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 14, no. 10, pp. 965–980, 1992.
- [12] R. Hartley and A. Zisserman, “Multiple view geometry in computer vision,” *Cambridge Univ. Press*, vol. 1, pp. 1689–1699, 2003.
- [13] “Distortion (optics).” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_\(optics\)#cite_note-brown-4](https://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_(optics)#cite_note-brown-4). [Accessed: 31-Mar-2017].
- [14] I. A. C. Matías, “Capítulo 3 : Transformaciones Geométricas,” pp. 54–99, 2007.
- [15] “Camera Calibration and 3D Reconstruction.” [Online]. Available: http://docs.opencv.org/2.4/modules/calib3d/doc/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html. [Accessed: 02-Apr-2017].
- [16] “Distribución normal.” [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Distribución_normal. [Accessed: 01-Jun-2017].
- [17] S. H. W. Farm, “Parameters of Human Vision and Viewshed Definition,” p. A1, 2009.
- [18] “Humans - The field of view.” [Online]. Available: <https://vrwiki.wikispaces.com/Field+of+view>. [Accessed: 02-Jun-2017].
- [19] “Image moment.” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Image_moment. [Accessed: 18-May-2017].
- [20] “An example using the watershed algorithm.” [Online]. Available: http://docs.opencv.org/3.1.0/d8/da9/watershed_8cpp-example.html. [Accessed: 19-May-2017].

Annexos

A. Estadístiques de les proves

| | Com. | Retol. | Esbor. | Patró. | Band. | focus | Altav. | Torn. | Auric. | Pap. | Total |
|--------------|------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|------|-------|
| Persona1_p1 | 1 | 0,2 | 0,9 | 0,9 | 0,6 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 4,7 |
| Persona2_p1 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,6 | 1 | 0,1 | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 0,1 | 4,2 |
| Persona3_p1 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,1 | 4,8 |
| Persona4_p1 | 0 | 0,5 | 1 | 0,7 | 0,1 | 0 | 0,8 | 0,2 | 1 | 0 | 4,3 |
| Persona5_p1 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,9 | 0,7 | 0,4 | 0,1 | 0,4 | 0,5 | 4 |
| Persona6_p1 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,8 | 0,1 | 5,1 |
| Persona7_p1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 1 | 0,3 | 0,6 | 0,2 | 0,7 | 0 | 3,7 |
| Persona8_p1 | 0 | 0,2 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,2 | 3,8 |
| Persona9_p1 | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 2,4 |
| Persona10_p1 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,9 | 1 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0 | 5,6 |
| Persona11_p1 | 0,9 | 0 | 0,8 | 0,1 | 0 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0 | 3,2 |

Taula 15: Estadístiques de les persones originals prova1

| | Rat. | got n. | Barr. | got v. | Llibr. | Pilota | metre | escacs | Llant. | cable | Total |
|--------------|------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Persona20_p2 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 0,4 | 0,1 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 4,5 |
| Persona19_p2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 5,5 |
| Persona18_p2 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,1 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 3,6 |
| Persona17_p2 | 0,3 | 0,2 | 0,6 | 1,0 | 0,4 | 0,9 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,0 | 4,9 |
| Persona16_p2 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 0,7 | 0,0 | 0,7 | 0,3 | 0,7 | 0,4 | 0,0 | 4,2 |
| Persona15_p2 | 0,4 | 0,2 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,2 | 0,7 | 0,6 | 0,2 | 0,1 | 4,3 |
| Persona14_p2 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,2 | 0,8 | 1,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 3,1 |
| Persona13_p2 | 0,6 | 0,2 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,9 | 0,7 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 5,3 |
| Persona12_p2 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,0 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 3,7 |
| Persona11_p2 | 0,7 | 0,2 | 0,8 | 0,5 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 0,4 | 0,1 | 4,1 |
| Persona10_p2 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,2 | 5,2 |
| Persona9_p2 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,6 | 0,9 | 0,5 | 0,2 | 5,5 |
| Persona8_p2 | 0,5 | 0,3 | 0,7 | 0,8 | 0,0 | 0,8 | 0,0 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 4,2 |
| Persona7_p2 | 0,3 | 0,1 | 0,9 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 1,0 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 4,8 |
| Persona6_p2 | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,6 | 0,1 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,3 | 5,1 |
| Persona5_p2 | 0,8 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,4 | 0,1 | 0,0 | 4,2 |
| Persona4_p2 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 3 |
| Persona3_p2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 4,2 |
| Persona2_p2 | 0,8 | 0,0 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,7 |
| Persona1_p2 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 0,4 | 0,0 | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 5,7 |

Taula 16: Estadístiques de les persones originals prova2

| | Com. | Retol. | Esbor. | Patró. | Band. | Focus | Altav. | Torn. | Auric. | Pap. | Total |
|--------------|------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|------|-------|
| Persona1_p1 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,9 | 0,4 | 0,2 | 0,6 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 3,9 |
| Persona2_p1 | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 0,2 | 0,9 | 0,1 | 0,6 | 0,4 | 0,7 | 0 | 3,8 |
| Persona3_p1 | 0,2 | 0,6 | 0,2 | 0,7 | 1 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 3,8 |
| Persona4_p1 | 0,2 | 0,3 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0 | 0,7 | 0,4 | 0,9 | 0 | 3,9 |
| Persona5_p1 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 4 |
| Persona6_p1 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,9 | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,1 | 4,7 |
| Persona7_p1 | 0 | 0 | 0,1 | 0,4 | 0,8 | 0,2 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 0 | 3,1 |
| Persona8_p1 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,1 | 4,2 |
| Persona9_p1 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0 | 3,5 |
| Persona10_p1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0 | 4,2 |
| Persona11_p1 | 0,4 | 0,2 | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,1 | 4,2 |

Taula 17: Estadístiques de l'inspector originals prova1

| | Rat. | got n. | Barr. | got v. | Llibr. | Pilota | metre | escacs | Llant. | cable | Total |
|--------------|------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Persona20_p2 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,7 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,4 | 0,8 | 0,1 | 4,6 |
| Persona19_p2 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 0,8 | 0,2 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 5,1 |
| Persona18_p2 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | 4,7 |
| Persona17_p2 | 0,3 | 0,1 | 0,6 | 0,9 | 0,1 | 0,9 | 0,7 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 4,6 |
| Persona16_p2 | 0,4 | 0,2 | 1,0 | 0,9 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,2 | 4,6 |
| Persona15_p2 | 0,3 | 0,0 | 0,8 | 0,7 | 0,2 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,1 | 4,8 |
| Persona14_p2 | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 0,7 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,8 |
| Persona13_p2 | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 4,7 |
| Persona12_p2 | 0,8 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 3,9 |
| Persona11_p2 | 0,4 | 0,4 | 0,8 | 0,7 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 3,3 |
| Persona10_p2 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 3,9 |
| Persona9_p2 | 0,1 | 0,2 | 0,8 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,2 | 0,0 | 4,6 |
| Persona8_p2 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,7 | 0,1 | 0,6 | 0,2 | 0,8 | 0,3 | 0,1 | 3,5 |
| Persona7_p2 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 4,8 |
| Persona6_p2 | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,2 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 0,3 | 0,3 | 4,9 |
| Persona5_p2 | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 0,9 | 0,1 | 0,4 | 0,9 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 3,8 |
| Persona4_p2 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,6 | 0,2 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 3,3 |
| Persona3_p2 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 3,5 |
| Persona2_p2 | 0,6 | 0,2 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 0,7 | 0,7 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 3,4 |
| Persona1_p2 | 0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,7 | 0,4 | 0,1 | 0,8 | 0,6 | 0,1 | 0,0 | 3,6 |

Taula 18: Estadístiques de l'inspector originals prova2

| | Com. | Retol. | Esbor. | Patró. | Band. | Focus | Altav. | Torn. | Auric. | Pap. | Total |
|--------------|------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|------|-------|
| Persona1_p1 | 0,21 | 0,04 | 0,19 | 0,19 | 0,13 | 0,04 | 0,09 | 0,06 | 0,02 | 0,02 | 1 |
| Persona2_p1 | 0,05 | 0,02 | 0,10 | 0,14 | 0,24 | 0,02 | 0,07 | 0,14 | 0,19 | 0,02 | 1 |
| Persona3_p1 | 0,13 | 0,10 | 0,13 | 0,17 | 0,19 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,02 | 1 |
| Persona4_p1 | 0,00 | 0,12 | 0,23 | 0,16 | 0,02 | 0,00 | 0,19 | 0,05 | 0,23 | 0,00 | 1 |
| Persona5_p1 | 0,05 | 0,03 | 0,10 | 0,08 | 0,23 | 0,18 | 0,10 | 0,03 | 0,10 | 0,13 | 1 |
| Persona6_p1 | 0,04 | 0,04 | 0,10 | 0,14 | 0,16 | 0,14 | 0,12 | 0,10 | 0,16 | 0,02 | 1 |
| Persona7_p1 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,11 | 0,27 | 0,08 | 0,16 | 0,05 | 0,19 | 0,00 | 1 |
| Persona8_p1 | 0,00 | 0,05 | 0,13 | 0,05 | 0,03 | 0,18 | 0,18 | 0,13 | 0,18 | 0,05 | 1 |
| Persona9_p1 | 0,42 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,21 | 0,04 | 0,04 | 0,08 | 0,04 | 1 |
| Persona10_p1 | 0,04 | 0,09 | 0,07 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,11 | 0,09 | 0,13 | 0,00 | 1 |
| Persona11_p1 | 0,28 | 0,00 | 0,25 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,16 | 0,16 | 0,13 | 0,00 | 1 |

Taula 19: Estadístiques de la persona normalitzades prova1

| | Rat. | got n. | Barr. | got v. | Llibr. | Pilota | metre | escacs | Llant. | cable | Total |
|--------------|------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Persona20_p2 | 0,04 | 0,09 | 0,18 | 0,13 | 0,16 | 0,09 | 0,02 | 0,11 | 0,09 | 0,09 | 1 |
| Persona19_p2 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,15 | 0,05 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 1 |
| Persona18_p2 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 0,03 | 0,17 | 0,19 | 0,14 | 0,19 | 1 |
| Persona17_p2 | 0,06 | 0,04 | 0,12 | 0,20 | 0,08 | 0,18 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,00 | 1 |
| Persona16_p2 | 0,05 | 0,05 | 0,24 | 0,17 | 0,00 | 0,17 | 0,07 | 0,17 | 0,10 | 0,00 | 1 |
| Persona15_p2 | 0,09 | 0,05 | 0,14 | 0,16 | 0,14 | 0,05 | 0,16 | 0,14 | 0,05 | 0,02 | 1 |
| Persona14_p2 | 0,03 | 0,19 | 0,03 | 0,06 | 0,26 | 0,32 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 1 |
| Persona13_p2 | 0,11 | 0,04 | 0,13 | 0,09 | 0,06 | 0,17 | 0,13 | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 1 |
| Persona12_p2 | 0,22 | 0,08 | 0,14 | 0,16 | 0,19 | 0,00 | 0,08 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 1 |
| Persona11_p2 | 0,17 | 0,05 | 0,20 | 0,12 | 0,02 | 0,07 | 0,07 | 0,17 | 0,10 | 0,02 | 1 |
| Persona10_p2 | 0,04 | 0,04 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,17 | 0,10 | 0,12 | 0,13 | 0,04 | 1 |
| Persona9_p2 | 0,05 | 0,05 | 0,11 | 0,13 | 0,11 | 0,15 | 0,11 | 0,16 | 0,09 | 0,04 | 1 |
| Persona8_p2 | 0,12 | 0,07 | 0,17 | 0,19 | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,12 | 0,10 | 0,05 | 1 |
| Persona7_p2 | 0,06 | 0,02 | 0,19 | 0,08 | 0,13 | 0,21 | 0,21 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 1 |
| Persona6_p2 | 0,08 | 0,04 | 0,10 | 0,12 | 0,02 | 0,20 | 0,14 | 0,14 | 0,12 | 0,06 | 1 |
| Persona5_p2 | 0,19 | 0,07 | 0,10 | 0,17 | 0,12 | 0,10 | 0,14 | 0,10 | 0,02 | 0,00 | 1 |
| Persona4_p2 | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 0,23 | 0,07 | 0,17 | 0,17 | 0,07 | 0,07 | 0,17 | 1 |
| Persona3_p2 | 0,07 | 0,10 | 0,14 | 0,12 | 0,17 | 0,14 | 0,00 | 0,05 | 0,10 | 0,12 | 1 |
| Persona2_p2 | 0,30 | 0,00 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,37 | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1 |
| Persona1_p2 | 0,09 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,07 | 0,00 | 0,14 | 0,14 | 0,09 | 0,05 | 1 |

Taula 20: Estadístiques de la persona normalitzades prova2

| | Com. | Retol. | Esbor. | Patró. | Band. | Focus | Altav. | Torn. | Auric. | Pap. | Total |
|--------------|------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|------|-------|
| Persona1_p1 | 0,13 | 0,08 | 0,10 | 0,23 | 0,10 | 0,05 | 0,15 | 0,03 | 0,10 | 0,03 | 1 |
| Persona2_p1 | 0,03 | 0,05 | 0,16 | 0,05 | 0,24 | 0,03 | 0,16 | 0,11 | 0,18 | 0,00 | 1 |
| Persona3_p1 | 0,05 | 0,16 | 0,05 | 0,18 | 0,26 | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,08 | 0,03 | 1 |
| Persona4_p1 | 0,05 | 0,08 | 0,21 | 0,10 | 0,05 | 0,00 | 0,18 | 0,10 | 0,23 | 0,00 | 1 |
| Persona5_p1 | 0,05 | 0,03 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,18 | 0,15 | 0,05 | 0,13 | 0,08 | 1 |
| Persona6_p1 | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,13 | 0,19 | 0,11 | 0,17 | 0,11 | 0,09 | 0,02 | 1 |
| Persona7_p1 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,13 | 0,26 | 0,06 | 0,26 | 0,10 | 0,16 | 0,00 | 1 |
| Persona8_p1 | 0,02 | 0,05 | 0,12 | 0,10 | 0,07 | 0,14 | 0,14 | 0,17 | 0,17 | 0,02 | 1 |
| Persona9_p1 | 0,14 | 0,06 | 0,14 | 0,17 | 0,09 | 0,09 | 0,11 | 0,06 | 0,14 | 0,00 | 1 |
| Persona10_p1 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,07 | 0,12 | 0,14 | 0,12 | 0,07 | 0,12 | 0,00 | 1 |
| Persona11_p1 | 0,10 | 0,05 | 0,14 | 0,07 | 0,05 | 0,10 | 0,17 | 0,17 | 0,14 | 0,02 | 1 |

Taula 21: Estadístiques de l'inspector normalitzades prova1

| | Rat. | got n. | Barr. | got v. | Llibr. | Pilota | metre | escacs | Llant. | cable | Total |
|--------------|------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Persona20_p2 | 0,02 | 0,02 | 0,17 | 0,15 | 0,09 | 0,11 | 0,15 | 0,09 | 0,17 | 0,02 | 1 |
| Persona19_p2 | 0,06 | 0,06 | 0,14 | 0,16 | 0,04 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,08 | 0,10 | 1 |
| Persona18_p2 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,09 | 0,04 | 0,15 | 0,19 | 0,15 | 0,19 | 0,13 | 1 |
| Persona17_p2 | 0,07 | 0,02 | 0,13 | 0,20 | 0,02 | 0,20 | 0,15 | 0,07 | 0,04 | 0,11 | 1 |
| Persona16_p2 | 0,09 | 0,04 | 0,22 | 0,20 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,04 | 1 |
| Persona15_p2 | 0,06 | 0,00 | 0,17 | 0,15 | 0,04 | 0,17 | 0,15 | 0,15 | 0,10 | 0,02 | 1 |
| Persona14_p2 | 0,11 | 0,05 | 0,13 | 0,21 | 0,26 | 0,18 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1 |
| Persona13_p2 | 0,04 | 0,04 | 0,17 | 0,15 | 0,04 | 0,11 | 0,17 | 0,11 | 0,04 | 0,13 | 1 |
| Persona12_p2 | 0,21 | 0,08 | 0,15 | 0,15 | 0,21 | 0,03 | 0,15 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 1 |
| Persona11_p2 | 0,12 | 0,12 | 0,24 | 0,21 | 0,09 | 0,15 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 1 |
| Persona10_p2 | 0,03 | 0,05 | 0,13 | 0,13 | 0,08 | 0,21 | 0,15 | 0,13 | 0,08 | 0,03 | 1 |
| Persona9_p2 | 0,02 | 0,04 | 0,17 | 0,15 | 0,09 | 0,13 | 0,17 | 0,17 | 0,04 | 0,00 | 1 |
| Persona8_p2 | 0,03 | 0,03 | 0,14 | 0,20 | 0,03 | 0,17 | 0,06 | 0,23 | 0,09 | 0,03 | 1 |
| Persona7_p2 | 0,02 | 0,02 | 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,17 | 0,21 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | 1 |
| Persona6_p2 | 0,08 | 0,04 | 0,10 | 0,14 | 0,04 | 0,18 | 0,12 | 0,16 | 0,06 | 0,06 | 1 |
| Persona5_p2 | 0,16 | 0,08 | 0,05 | 0,24 | 0,03 | 0,11 | 0,24 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 1 |
| Persona4_p2 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,18 | 0,06 | 0,21 | 0,21 | 0,18 | 0,09 | 0,03 | 1 |
| Persona3_p2 | 0,09 | 0,06 | 0,11 | 0,17 | 0,14 | 0,20 | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 1 |
| Persona2_p2 | 0,18 | 0,06 | 0,18 | 0,09 | 0,03 | 0,21 | 0,21 | 0,03 | 0,03 | 0,00 | 1 |
| Persona1_p2 | 0,03 | 0,11 | 0,11 | 0,19 | 0,11 | 0,03 | 0,22 | 0,17 | 0,03 | 0,00 | 1 |

Taula 22: Estadístiques de l'inspector normalitzades prova2

B. Taules de l'efecte d'etiquetatge

| personX | med_x | dev_x | med_y | dev_y | med_ang | dev_ang | med_dist | dev_dist |
|-------------------|--------|-------|--------|-------|---------|---------|----------|----------|
| Persona1_p1_f64 | 334,20 | 1,17 | 140,93 | 1,06 | 313,33 | 2,04 | 89,40 | 13,25 |
| Persona3_p1_f84 | 203,87 | 0,96 | 206,27 | 1,18 | 314,27 | 1,28 | 100,28 | 12,97 |
| Persona5_p1_f104 | 410,53 | 1,02 | 166,93 | 0,57 | 25,73 | 1,12 | 91,56 | 8,77 |
| Persona7_p1_f124 | 488,07 | 1,00 | 173,87 | 1,00 | 321,13 | 1,59 | 102,85 | 11,13 |
| Persona9_p1_f144 | 341,93 | 1,77 | 149,07 | 0,93 | 9,60 | 1,84 | 89,52 | 12,95 |
| Persona11_p1_f164 | 229,47 | 1,75 | 121,53 | 0,72 | 0,53 | 0,63 | 104,14 | 19,73 |
| Persona10_p1_f184 | 215,60 | 1,54 | 89,40 | 1,58 | 171,73 | 1,35 | 99,62 | 12,64 |
| Persona8_p1_f204 | 119,67 | 1,49 | 120,73 | 0,85 | 178,40 | 1,57 | 77,96 | 7,29 |
| TOTAL | | 1,34 | | 0,99 | | 1,43 | 94,42 | 12,34 |

Taula 23: Efecte etiquetatge Conjunt Original prova1

| personX | med_x | dev_x | med_y | dev_y | med_ang | dev_ang | med_dist | dev_dist |
|-------------------|--------|-------|--------|-------|---------|---------|----------|----------|
| Persona1_p2_f64 | 256,40 | 1,58 | 246,67 | 1,49 | 222,80 | 3,81 | 104,15 | 13,32 |
| Persona3_p2_f84 | 225,47 | 1,15 | 278,00 | 0,63 | 200,87 | 5,21 | 83,55 | 13,41 |
| Persona5_p2_f104 | 201,87 | 0,72 | 213,20 | 0,65 | 222,60 | 3,97 | 94,38 | 9,88 |
| Persona7_p2_f124 | 224,27 | 1,29 | 295,93 | 1,06 | 141,07 | 1,68 | 96,22 | 12,96 |
| Persona9_p2_f144 | 222,27 | 1,12 | 207,67 | 0,94 | 193,73 | 2,52 | 85,17 | 5,94 |
| Persona11_p2_f164 | 205,13 | 0,62 | 223,80 | 0,54 | 107,07 | 0,89 | 93,86 | 20,91 |
| Persona13_p2_f184 | 259,93 | 1,12 | 287,07 | 1,18 | 19,20 | 1,15 | 114,46 | 23,40 |
| Persona15_p2_f204 | 287,60 | 1,40 | 206,00 | 0,97 | 1,73 | 1,81 | 87,73 | 9,35 |
| TOTAL | | 1,13 | | 0,93 | | 2,63 | 94,94 | 13,65 |

Taula 24: Efecte etiquetatge Conjunt Original prova2

| personX | med_x | dev_x | med_y | dev_y | med_ang | dev_ang | med_dist | dev_dist |
|-------------------|--------|-------|--------|-------|---------|---------|----------|----------|
| Persona1_p1_f64 | 334,53 | 1,09 | 139,33 | 1,35 | 311,80 | 2,05 | 95,40 | 16,70 |
| Persona3_p1_f84 | 201,13 | 1,09 | 205,20 | 1,56 | 317,00 | 1,20 | 110,76 | 10,83 |
| Persona5_p1_f104 | 414,33 | 1,35 | 165,07 | 0,68 | 27,80 | 1,33 | 104,88 | 15,02 |
| Persona7_p1_f124 | 500,07 | 0,93 | 169,27 | 1,06 | 321,87 | 3,19 | 98,65 | 13,17 |
| Persona9_p1_f144 | 336,60 | 1,85 | 149,53 | 1,41 | 7,20 | 1,73 | 106,92 | 21,51 |
| Persona11_p1_f164 | 220,47 | 2,63 | 117,33 | 0,87 | 358,73 | 0,95 | 127,61 | 31,02 |
| Persona10_p1_f184 | 210,53 | 1,67 | 79,47 | 1,75 | 172,93 | 2,61 | 102,29 | 16,72 |
| Persona8_p1_f204 | 95,93 | 1,69 | 107,07 | 0,68 | 170,40 | 3,44 | 71,74 | 5,16 |
| TOTAL | | 1,54 | | 1,17 | | 2,06 | 102,28 | 16,26 |

Taula 25: Efecte etiquetatge Conjunt Undistorted1 prova1

| personX | med_x | dev_x | med_y | dev_y | med_ang | dev_ang | med_dist | dev_dist |
|-------------------|--------|-------|--------|-------|---------|---------|----------|----------|
| Persona1_p2_f64 | 255,07 | 2,11 | 247,40 | 1,31 | 226,07 | 3,27 | 105,33 | 14,51 |
| Persona3_p2_f84 | 223,00 | 1,59 | 279,20 | 0,75 | 202,20 | 3,47 | 84,91 | 9,75 |
| Persona5_p2_f104 | 198,33 | 1,19 | 212,53 | 1,09 | 222,47 | 3,24 | 110,09 | 12,71 |
| Persona7_p2_f124 | 221,00 | 0,97 | 297,53 | 1,09 | 144,33 | 2,67 | 99,93 | 20,06 |
| Persona9_p2_f144 | 220,40 | 1,14 | 207,27 | 1,06 | 187,65 | 7,50 | 96,76 | 20,24 |
| Persona11_p2_f164 | 202,40 | 1,36 | 222,60 | 1,02 | 111,73 | 1,58 | 80,93 | 10,69 |
| Persona13_p2_f184 | 258,60 | 1,25 | 288,80 | 0,83 | 22,27 | 2,15 | 111,29 | 23,42 |
| Persona15_p2_f204 | 287,73 | 0,77 | 206,93 | 0,68 | 359,87 | 0,94 | 89,22 | 9,98 |
| TOTAL | | 1,30 | | 0,98 | | 3,10 | 97,30 | 15,17 |

Taula 26: Efecte etiquetatge Conjunt Undistorted2 prova2

C. Altures dels objectes i relacions píxel/metre

Pel que fa al càlcul de les altures dels objectes s'han mesurat dos tipus d'altures, l'altura de les taules on alguns objectes estaven situats sobre i l'altura dels objectes en si mateix.

Per realitzar la mesura dels objectes s'ha seguit el següent procediment:

MESURA D'OBJECTES PROCEDIMENT:

```

----- => zona més alta de l'objecte
-----
----- ==> D'aquí fins (meitat zona alta i zona més ampla)
-----
----- => zona més ampla de l'objecte (i més ampla en cas igual)
-----
-----
-----
----- ==> Aquí (zona més baixa de l'objecte)

```

A continuació, és mostren les taules referents a les altures dels objectes mesurades per les dues proves, cal dir que l'altura Total és la que ha estat utilitzada pels mètodes del present treball.

| Altures | Comand. | Retol. | Esborrad. | Patró. | Bander. | Focus | Altaveus | Tornav. | Auric. | Pap. |
|---------|---------|--------|-----------|--------|---------|-------|----------|---------|--------|-------|
| Taula | 0,765 | 0,765 | 0,765 | 0,765 | 0 | 0,7 | 0,43 | 0,43 | 0,43 | 0 |
| Objecte | 0,025 | 0,01 | 0,05 | 0,03 | 0 | 0,3 | 0,08 | 0,038 | 0,09 | 0,695 |
| Total | 0,79 | 0,775 | 0,815 | 0,795 | 0 | 1 | 0,51 | 0,468 | 0,52 | 0,695 |

Taula 27: Altures objectes prova1

| Altures | Rat. | got n. | Barr. | got v. | Llibr. | Pilota | metre | escacs | Llant. | cable |
|---------|------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Taula | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,6 | 0,765 | 0,765 | 0,765 | 0,765 |
| Objecte | 0,03 | 0,085 | 0,05 | 0,116 | 0,004 | 0,025 | 0,025 | 0,004 | 0,033 | 0,03 |
| Total | 0,8 | 0,855 | 0,82 | 0,886 | 0,774 | 0,625 | 0,79 | 0,769 | 0,798 | 0,795 |

Taula 28: Altures objectes prova2

Pel que fa a les relacions píxel/metre obtingudes, a continuació es mostra una taula amb els resultats:

| | |
|------------------------------|----------|
| Conjunts <i>Original</i> | 130,0813 |
| Conjunts <i>Undistorted1</i> | 180,7909 |
| Conjunts <i>Undistorted2</i> | 172,9729 |

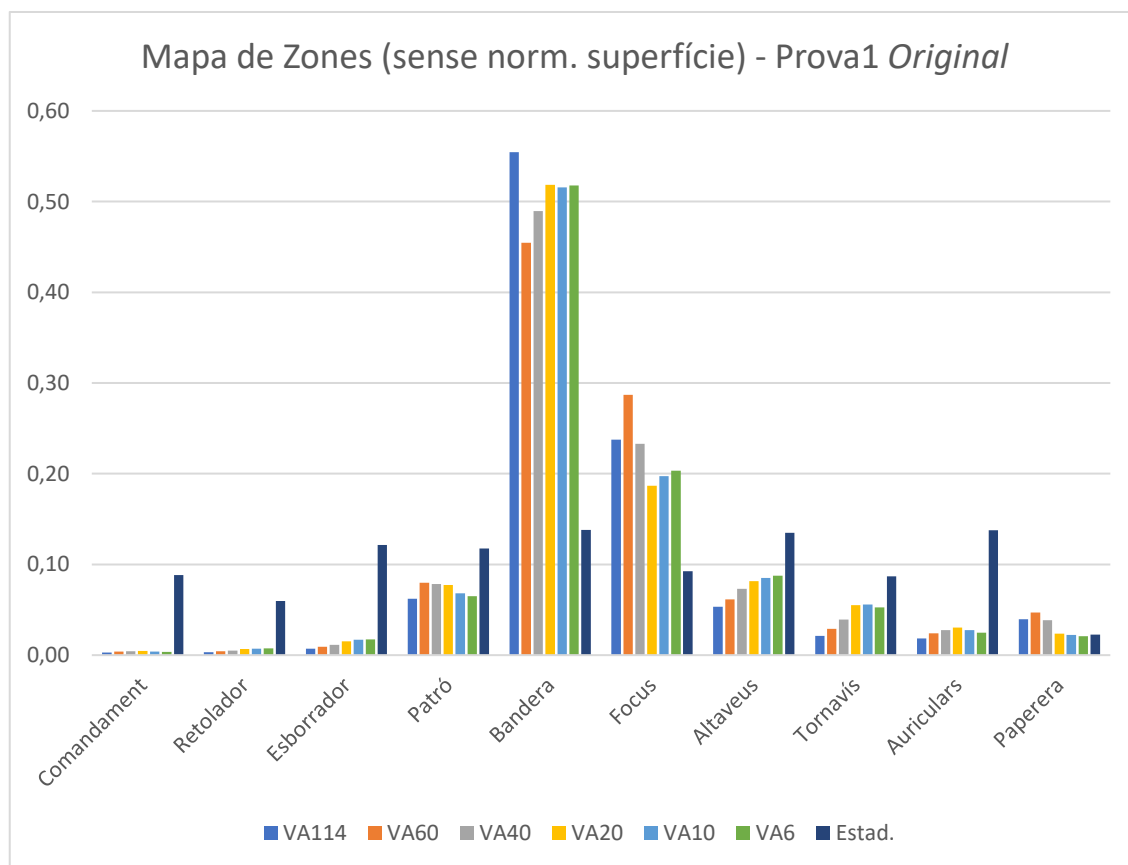
Taula 29: Relacions píxel/metre obtingudes

D. Taules i gràfics de resultats

En aquest apartat es mostren les taules i gràfics dels resultats obtinguts amb els mètodes de forma individual utilitzant els arguments de les Taules 11, 12 i 13 començant pels *Originals* i acabant amb els *Undistorted*. Els resultats són comparats amb la mitjana de les estadístiques total (persona i inspector) mitjançant el càlcul de la suma de les diferències en valor absolut per cada resultat.

| Objectes | VA114 | VA60 | VA40 | VA20 | VA10 | VA6 | Estad. | D114 | D60 | D40 | D20 | D10 | D6 |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Comandament | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| Retolador | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Esborrador | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,10 |
| Patró | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,12 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| Bandera | 0,55 | 0,45 | 0,49 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,14 | 0,42 | 0,32 | 0,35 | 0,38 | 0,38 | 0,38 |
| Focus | 0,24 | 0,29 | 0,23 | 0,19 | 0,20 | 0,20 | 0,09 | 0,15 | 0,19 | 0,14 | 0,09 | 0,10 | 0,11 |
| Altaveus | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,13 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Tornavís | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,09 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Auriculars | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| Paperera | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,16 | 1,07 | 1,02 | 0,95 | 0,97 | 0,98 |

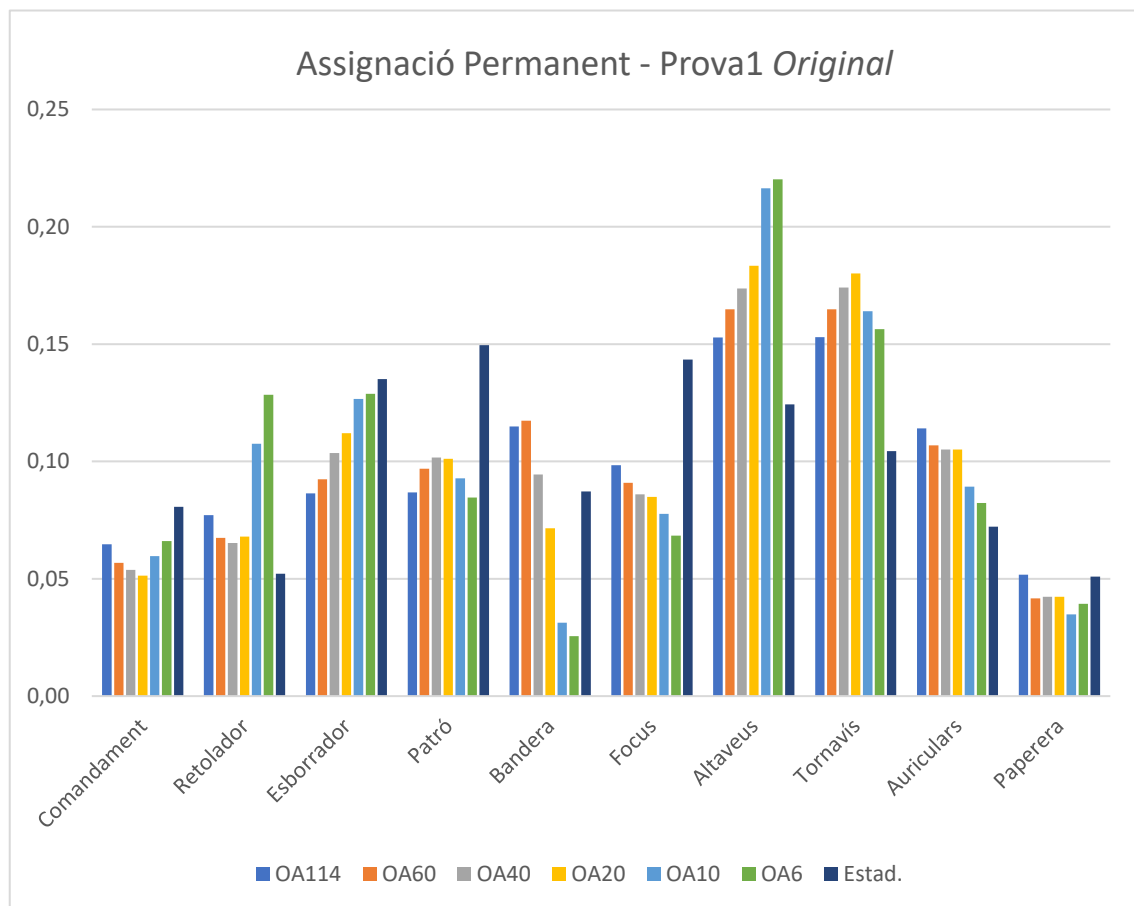
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa visualAreas.cpp sense normalització per superfície variant l'angle prova1 Original



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | OA114 | OA60 | OA40 | OA20 | OA10 | OA6 | Estad. | D114 | D60 | D40 | D20 | D10 | D6 |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Comandament | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| Retolador | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,11 | 0,13 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,08 |
| Esborrador | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| Patró | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,15 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| Bandera | 0,11 | 0,12 | 0,09 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,09 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,06 |
| Focus | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,14 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,08 |
| Altaveus | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,22 | 0,22 | 0,12 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,10 |
| Tornavis | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,16 | 0,16 | 0,10 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,06 | 0,05 |
| Auriculars | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,01 |
| Paperera | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,35 | 0,36 | 0,34 | 0,37 | 0,45 | 0,47 |

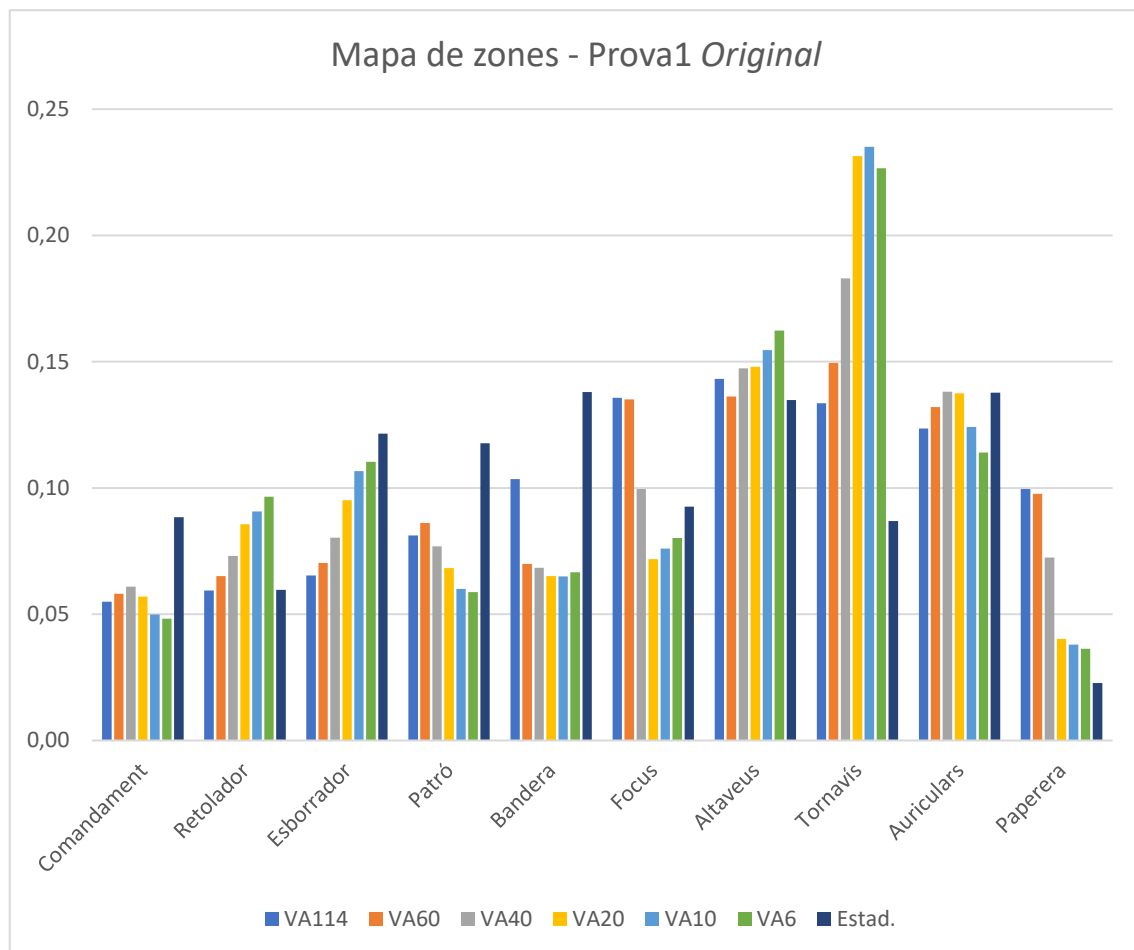
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa objectAssignment.cpp variant l'angle prova1 Original



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | VA114 | VA60 | VA40 | VA20 | VA10 | VA6 | Estad. | D114 | D60 | D40 | D20 | D10 | D6 |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Comandament | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,09 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| Retolador | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,06 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| Esborrador | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,01 |
| Patró | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,12 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,06 |
| Bandera | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,14 | 0,03 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| Focus | 0,14 | 0,14 | 0,10 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Altaveus | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,13 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| Tornavís | 0,13 | 0,15 | 0,18 | 0,23 | 0,24 | 0,23 | 0,09 | 0,05 | 0,06 | 0,10 | 0,14 | 0,15 | 0,14 |
| Auriculars | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,14 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 |
| Paperera | 0,10 | 0,10 | 0,07 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,08 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,35 | 0,37 | 0,36 | 0,40 | 0,43 | 0,44 |

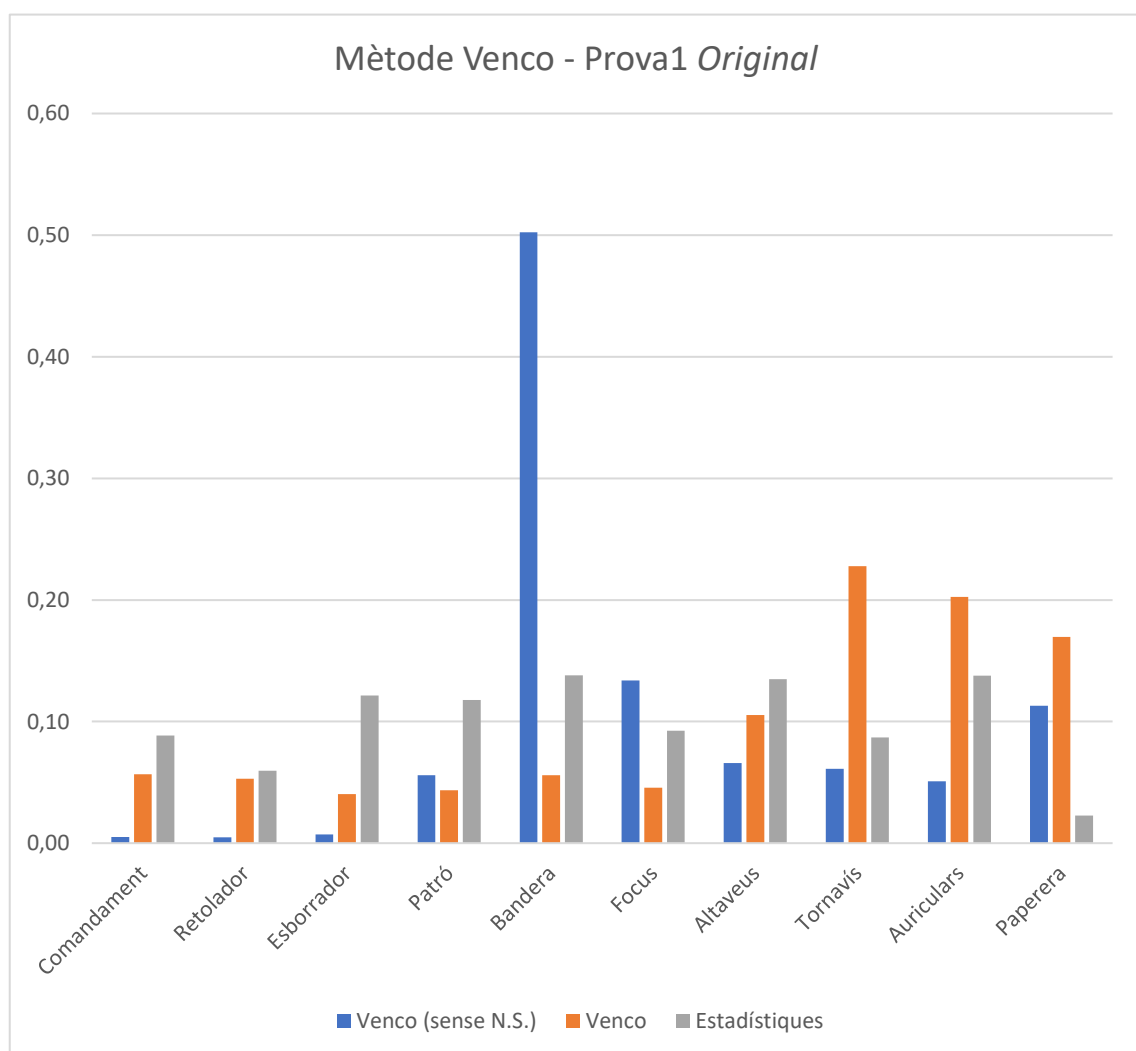
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa visualAreas.cpp variant l'angle prova1 Original



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | Venco (sense N.S.) | Venco | Estadístiques | D (sense N.S.) | D |
|-------------|--------------------|-------|---------------|----------------|------|
| Comandament | 0,01 | 0,06 | 0,09 | 0,08 | 0,03 |
| Retolador | 0,00 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,01 |
| Esborrador | 0,01 | 0,04 | 0,12 | 0,11 | 0,08 |
| Patró | 0,06 | 0,04 | 0,12 | 0,06 | 0,07 |
| Bandera | 0,50 | 0,06 | 0,14 | 0,36 | 0,08 |
| Focus | 0,13 | 0,05 | 0,09 | 0,04 | 0,05 |
| Altaveus | 0,07 | 0,11 | 0,13 | 0,07 | 0,03 |
| Tornavis | 0,06 | 0,23 | 0,09 | 0,03 | 0,14 |
| Auriculars | 0,05 | 0,20 | 0,14 | 0,09 | 0,06 |
| Paperera | 0,11 | 0,17 | 0,02 | 0,09 | 0,15 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,99 | 0,70 |

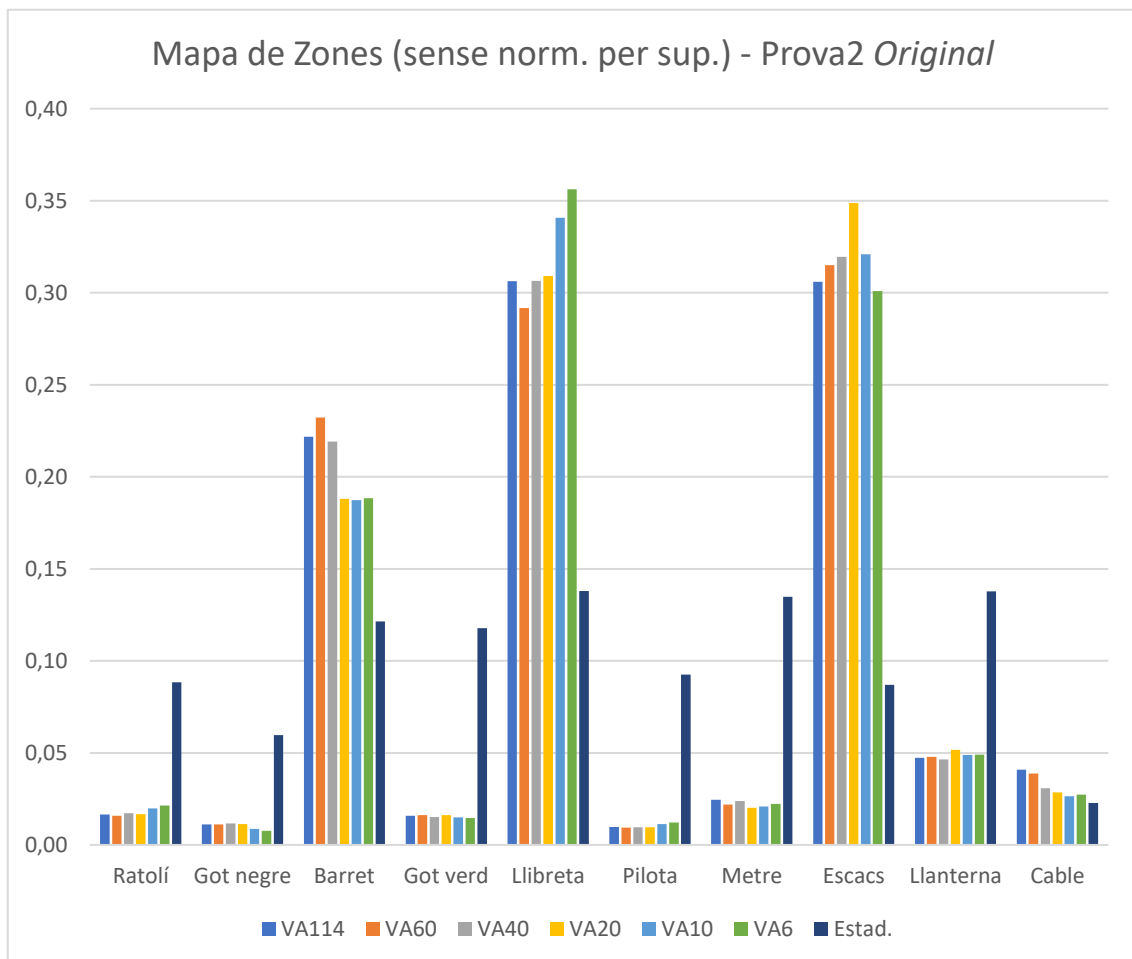
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa del mètode Venco prova1 Original



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | VA114 | VA60 | VA40 | VA20 | VA10 | VA6 | Estad. | D114 | D60 | D40 | D20 | D10 | D6 |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Ratolí | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| Got negre | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Barret | 0,22 | 0,23 | 0,22 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,12 | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| Got verd | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| Llibreta | 0,31 | 0,29 | 0,31 | 0,31 | 0,34 | 0,36 | 0,14 | 0,17 | 0,15 | 0,17 | 0,17 | 0,20 | 0,22 |
| Pilota | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| Metre | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,13 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| Escacs | 0,31 | 0,31 | 0,32 | 0,35 | 0,32 | 0,30 | 0,09 | 0,22 | 0,23 | 0,23 | 0,26 | 0,23 | 0,21 |
| Llanterna | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,14 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| Cable | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,01 | 1,02 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,01 |

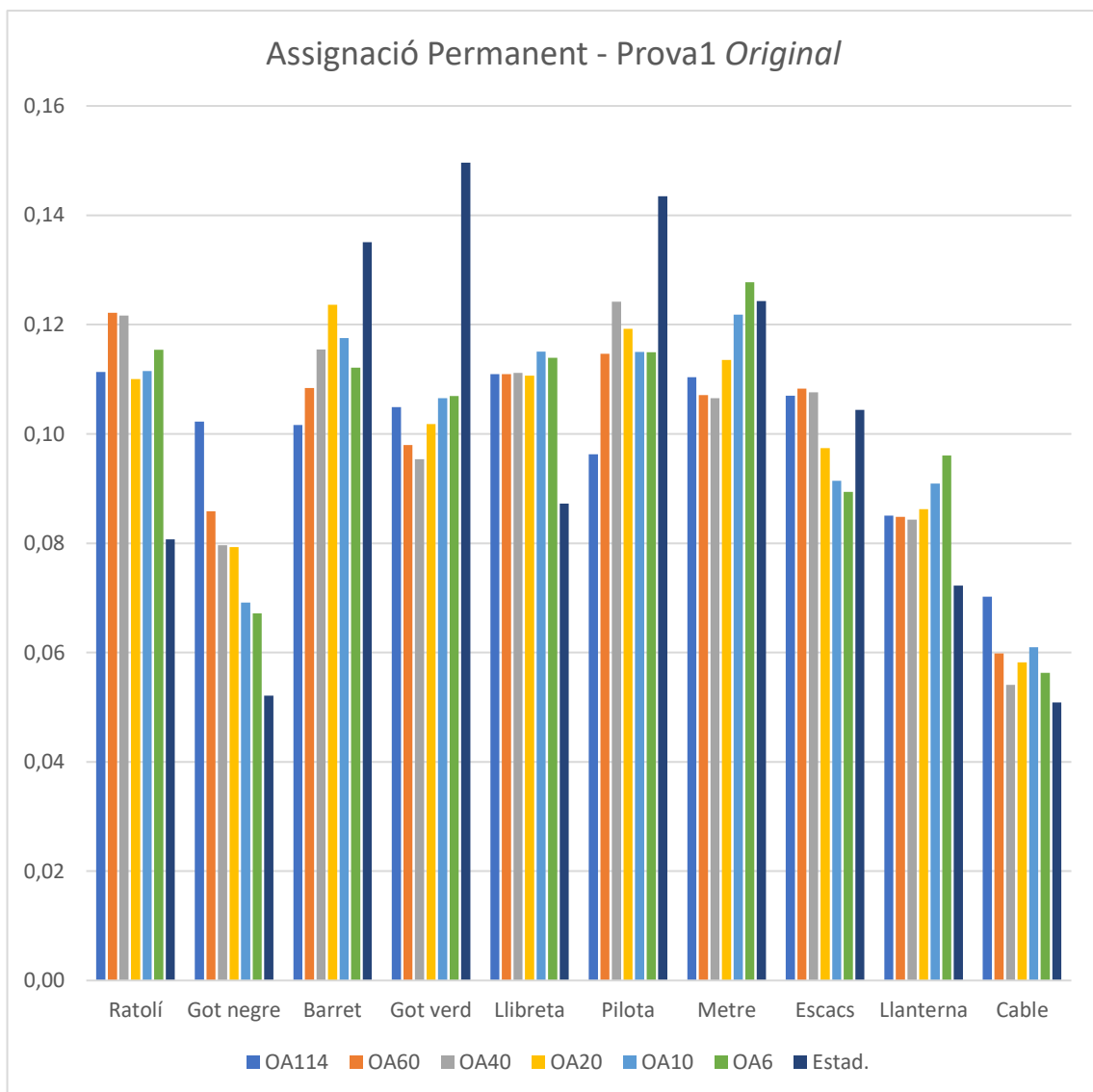
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa visualAreas.cpp sense normalització per superfície variant l'angle prova2 Original



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | OA114 | OA60 | OA40 | OA20 | OA10 | OA6 | Estad. | D114 | D60 | D40 | D20 | D10 | D6 |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Ratolí | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,08 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Got negre | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| Barret | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,14 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Got verd | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,15 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 |
| Llibreta | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,11 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| Pilota | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,14 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| Metre | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Escacs | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Llanterna | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Cable | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,28 | 0,25 | 0,22 | 0,20 | 0,21 | 0,22 |

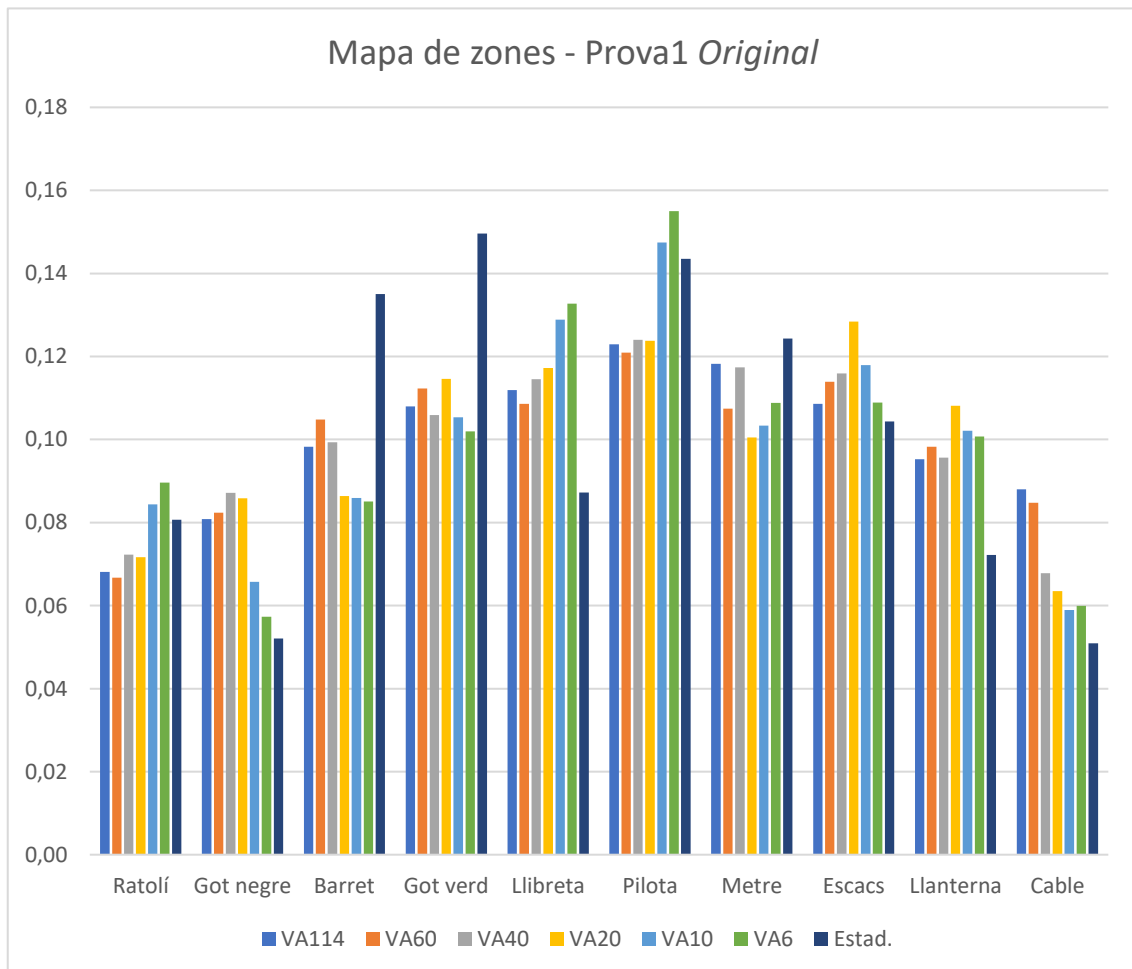
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa objectAssignment.cpp variant l'angle prova2



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | VA114 | VA60 | VA40 | VA20 | VA10 | VA6 | Estad. | D114 | D60 | D40 | D20 | D10 | D6 |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Ratolí | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Got negre | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,01 |
| Barret | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,14 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Got verd | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,15 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| Libreta | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| Pilota | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,15 | 0,16 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,01 |
| Metre | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Escacs | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,11 | 0,10 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,00 |
| Llanterna | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,07 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,03 |
| Cable | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0,27 | 0,23 | 0,23 |

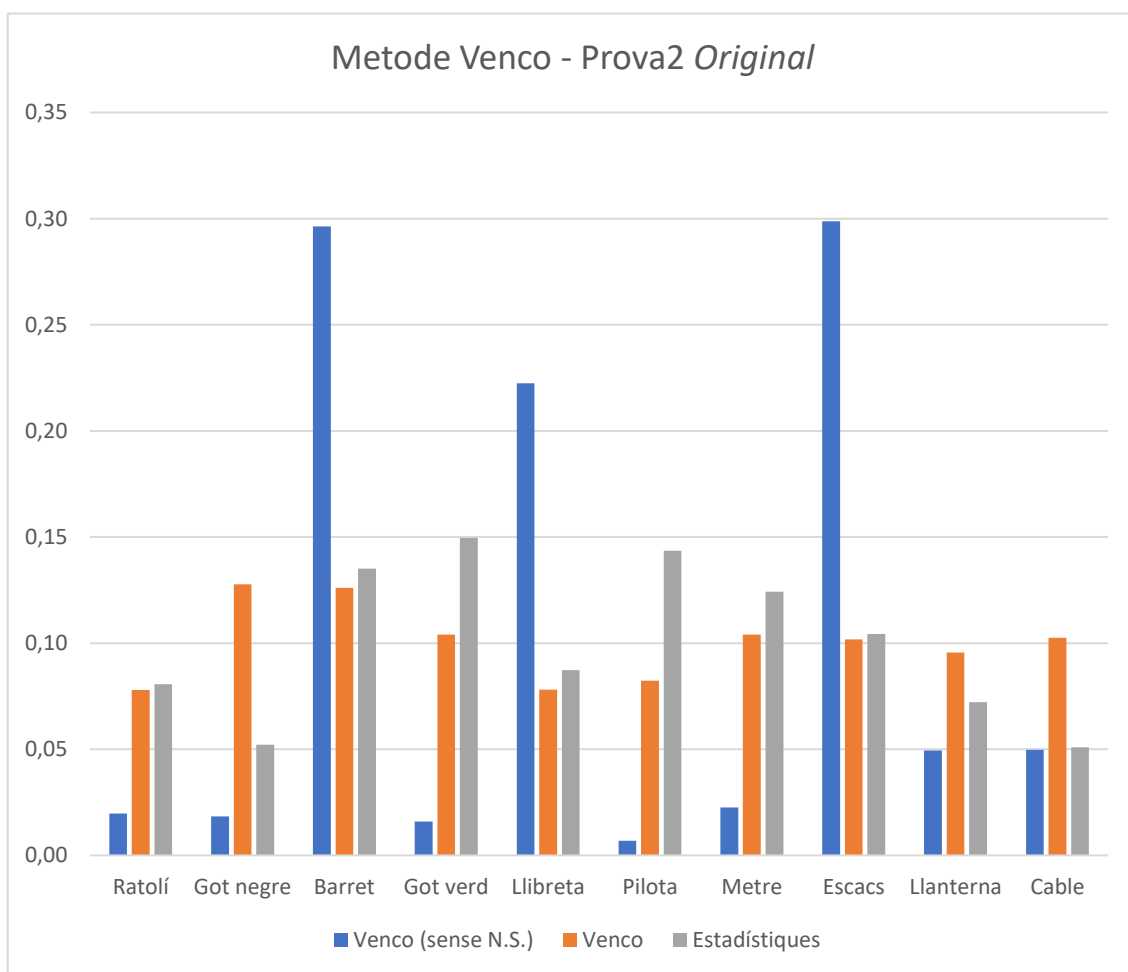
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa visualAreas.cpp variant l'angle prova2 Original



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | Venco (sense N.S.) | Venco | Estadístiques | D (sense N.S.) | D |
|-----------|--------------------|-------|---------------|----------------|------|
| Ratolí | 0,02 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,00 |
| Got negre | 0,02 | 0,13 | 0,05 | 0,03 | 0,08 |
| Barret | 0,30 | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,01 |
| Got verd | 0,02 | 0,10 | 0,15 | 0,13 | 0,05 |
| Llibreta | 0,22 | 0,08 | 0,09 | 0,14 | 0,01 |
| Pilota | 0,01 | 0,08 | 0,14 | 0,14 | 0,06 |
| Metre | 0,02 | 0,10 | 0,12 | 0,10 | 0,02 |
| Escacs | 0,30 | 0,10 | 0,10 | 0,19 | 0,00 |
| Llanterna | 0,05 | 0,10 | 0,07 | 0,02 | 0,02 |
| Cable | 0,05 | 0,10 | 0,05 | 0,00 | 0,05 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,98 | 0,30 |

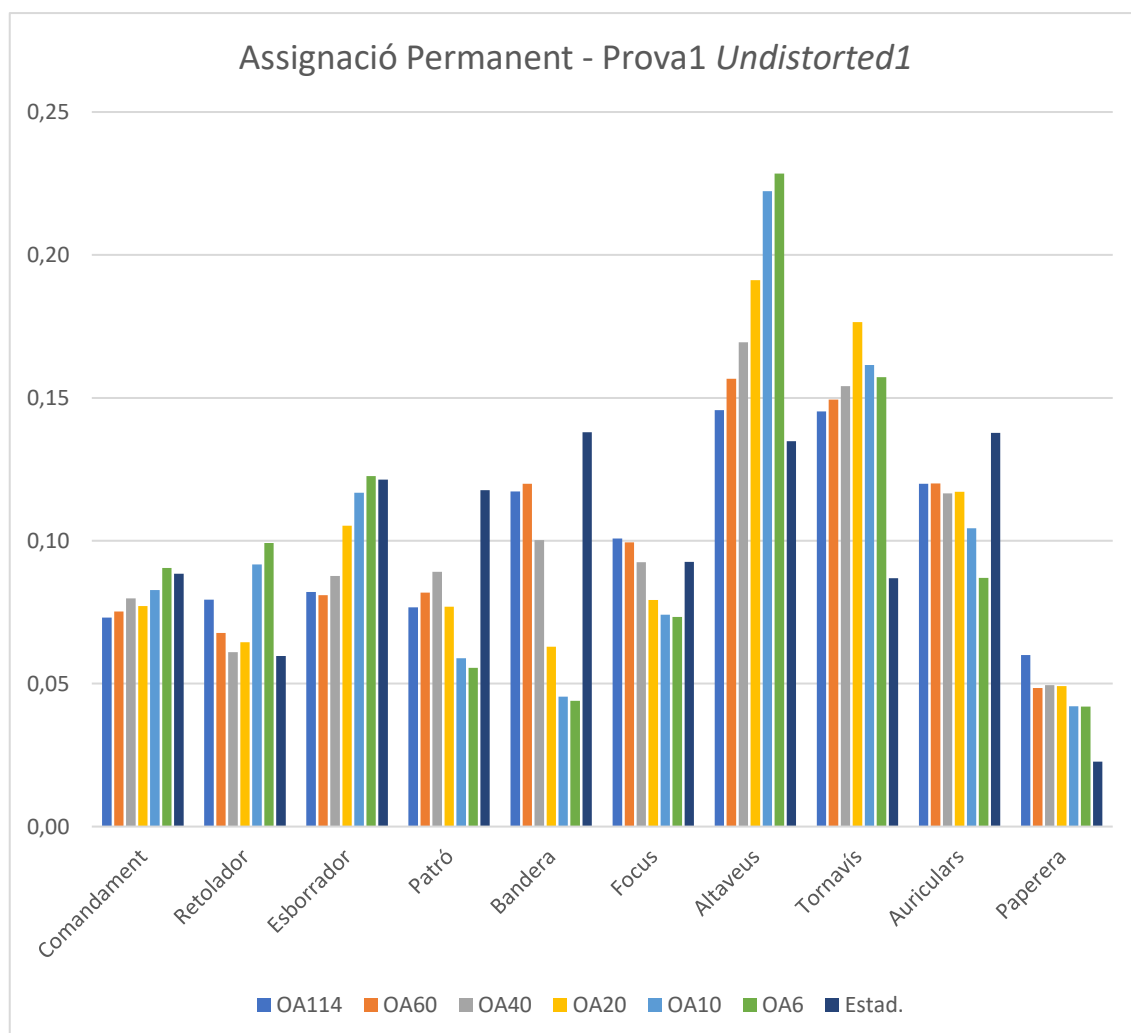
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa del mètode Venco prova2 Original



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | OA114 | OA60 | OA40 | OA20 | OA10 | OA6 | Estad. | D114 | D60 | D40 | D20 | D10 | D6 |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Comandament | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Retolador | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,06 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,04 |
| Esborrador | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,00 |
| Patró | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,12 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,06 |
| Bandera | 0,12 | 0,12 | 0,10 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,08 | 0,09 | 0,09 |
| Focus | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Altaveus | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,19 | 0,22 | 0,23 | 0,13 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,09 |
| Tornavís | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,18 | 0,16 | 0,16 | 0,09 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,07 |
| Auriculars | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| Paperera | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,27 | 0,25 | 0,26 | 0,35 | 0,43 | 0,45 |

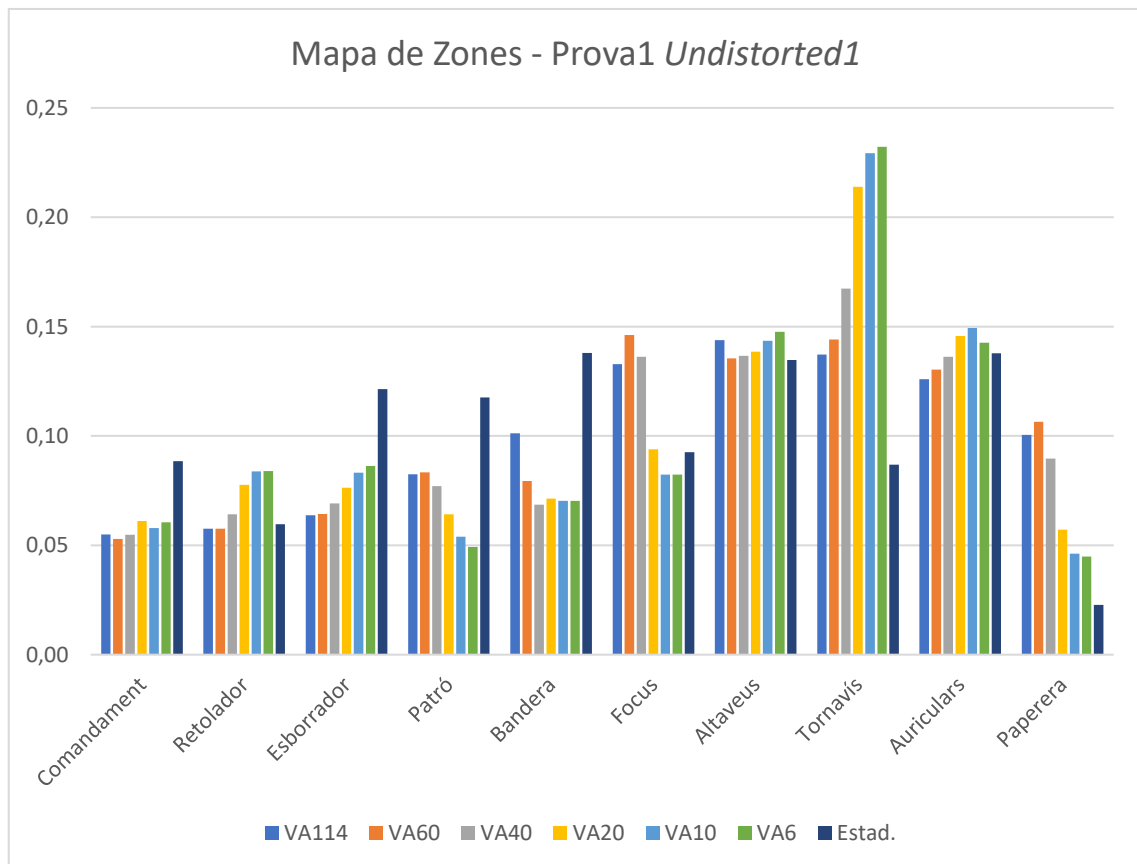
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa objectAssignment.cpp variant l'angle prova1 Undistorted1



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | VA114 | VA60 | VA40 | VA20 | VA10 | VA6 | Estad. | D114 | D60 | D40 | D20 | D10 | D6 |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Comandament | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Retolador | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Esborrador | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,12 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 |
| Patró | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,12 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| Bandera | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,14 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| Focus | 0,13 | 0,15 | 0,14 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| Altaveus | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,13 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| Tornavís | 0,14 | 0,14 | 0,17 | 0,21 | 0,23 | 0,23 | 0,09 | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,13 | 0,14 | 0,15 |
| Auriculars | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 |
| Paperera | 0,10 | 0,11 | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,35 | 0,39 | 0,39 | 0,38 | 0,42 | 0,42 |

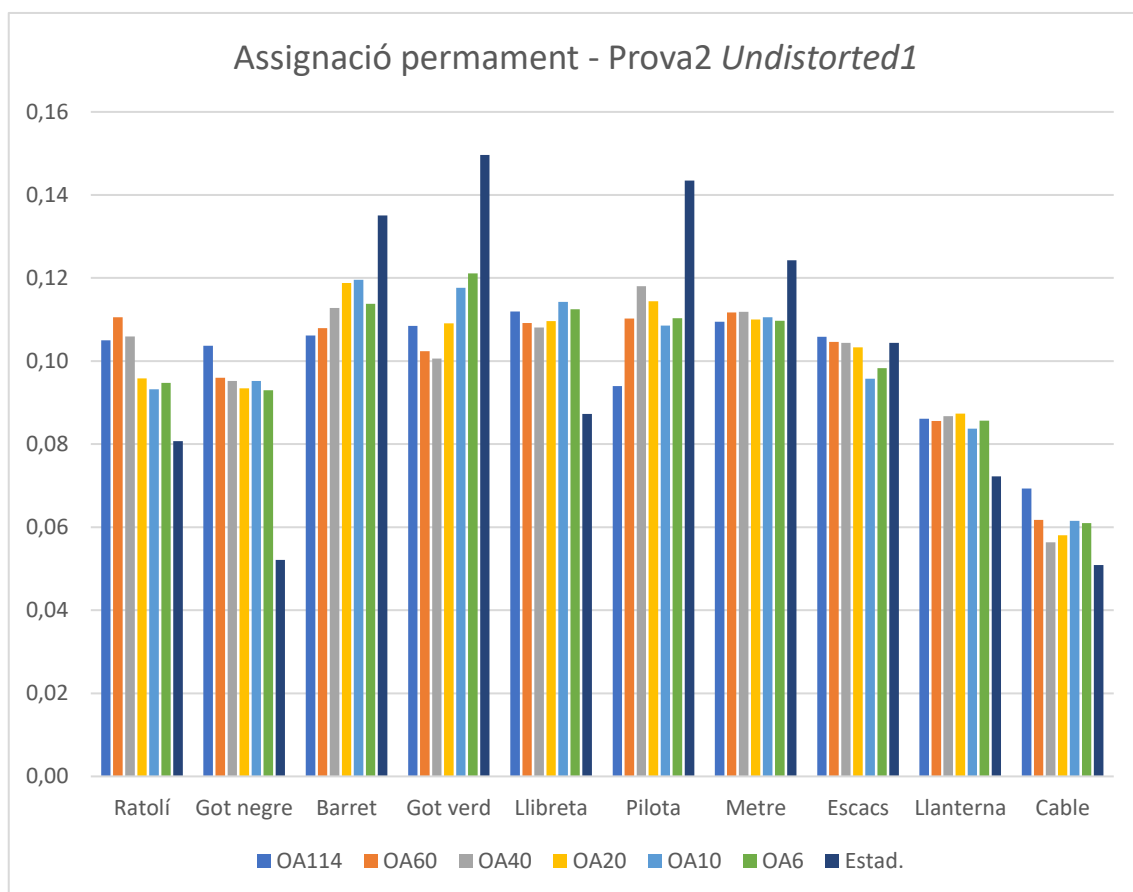
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa visualAreas.cpp variant l'angle prova Undistorted1



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | OA114 | OA60 | OA40 | OA20 | OA10 | OA6 | Estad. | D114 | D60 | D40 | D20 | D10 | D6 |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Ratolí | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| Got negre | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Barret | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,14 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Got verd | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,15 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,03 |
| Llibreta | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| Pilota | 0,09 | 0,11 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,14 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Metre | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Escacs | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| Llanterna | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| Cable | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,27 | 0,24 | 0,22 | 0,20 | 0,21 | 0,21 |

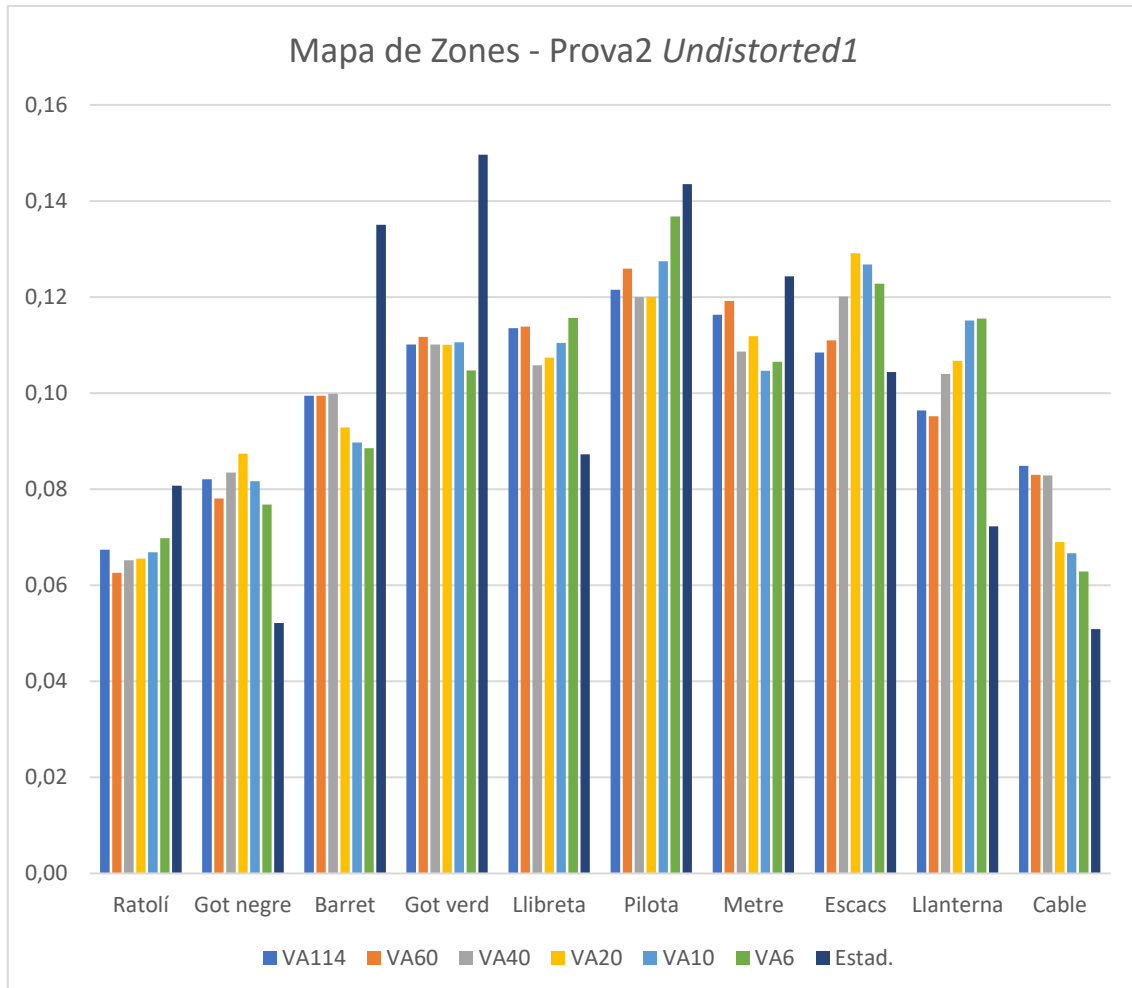
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa objectAssignment.cpp variant l'angle prova2 Undistorted1



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | VA114 | VA60 | VA40 | VA20 | VA10 | VA6 | Estad. | D114 | D60 | D40 | D20 | D10 | D6 |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Ratolí | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| Got negre | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| Barret | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,14 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| Got verd | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,15 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Llibreta | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,09 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Pilota | 0,12 | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Metre | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Escacs | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 0,10 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Llanterna | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| Cable | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,24 | 0,23 | 0,26 | 0,27 | 0,27 | 0,25 |

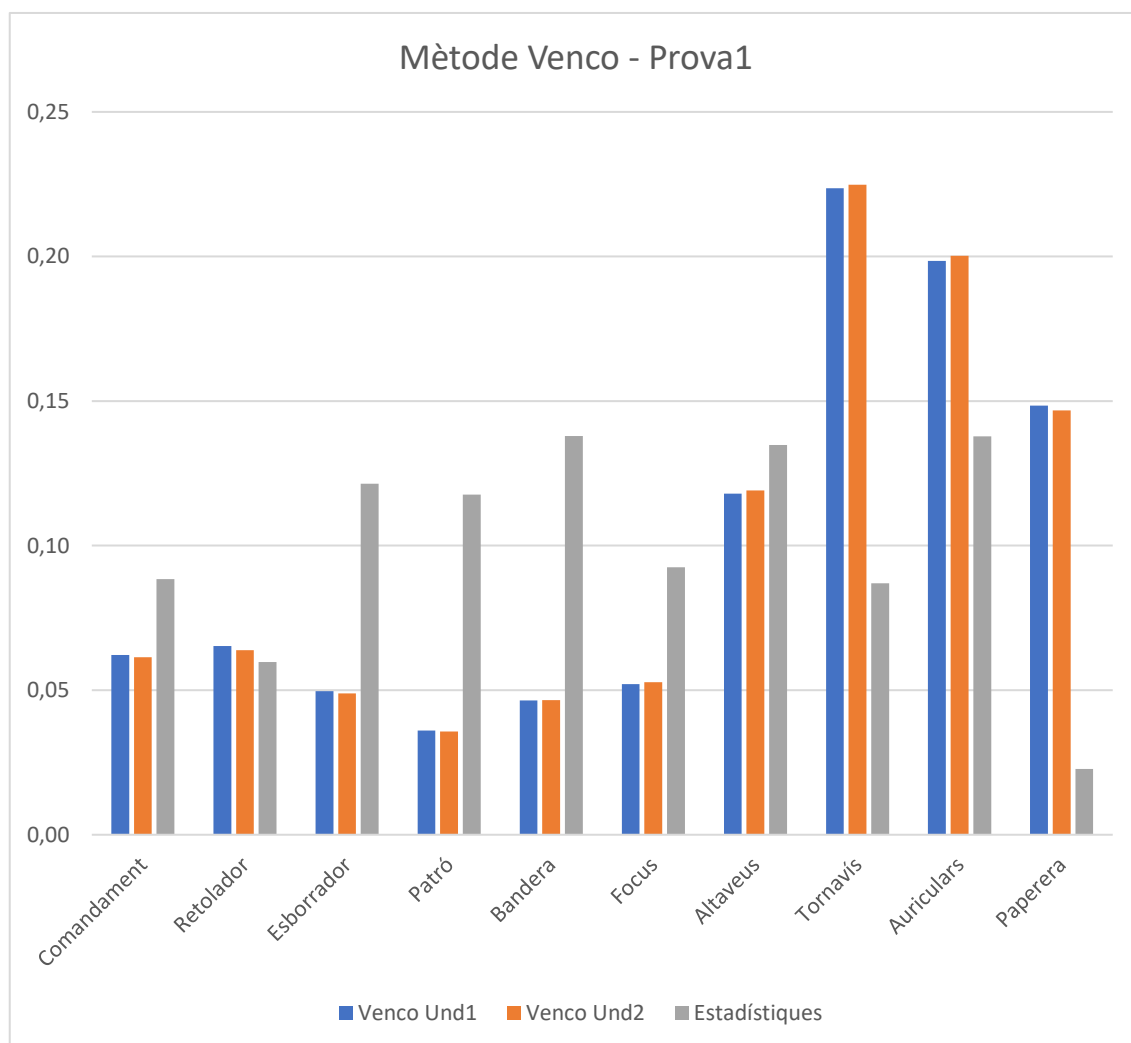
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa visualAreas.cpp variant l'angle prova2 Undistorted1



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | Venco Und1 | Venco Und2 | Estadístiques | D | D |
|-------------|------------|------------|---------------|------|------|
| Comandament | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,03 | 0,03 |
| Retolador | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,01 | 0,00 |
| Esborrador | 0,05 | 0,05 | 0,12 | 0,07 | 0,07 |
| Patró | 0,04 | 0,04 | 0,12 | 0,08 | 0,08 |
| Bandera | 0,05 | 0,05 | 0,14 | 0,09 | 0,09 |
| Focus | 0,05 | 0,05 | 0,09 | 0,04 | 0,04 |
| Altaveus | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,02 | 0,02 |
| Tornavís | 0,22 | 0,22 | 0,09 | 0,14 | 0,14 |
| Auriculars | 0,20 | 0,20 | 0,14 | 0,06 | 0,06 |
| Paperera | 0,15 | 0,15 | 0,02 | 0,13 | 0,12 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,66 | 0,66 |

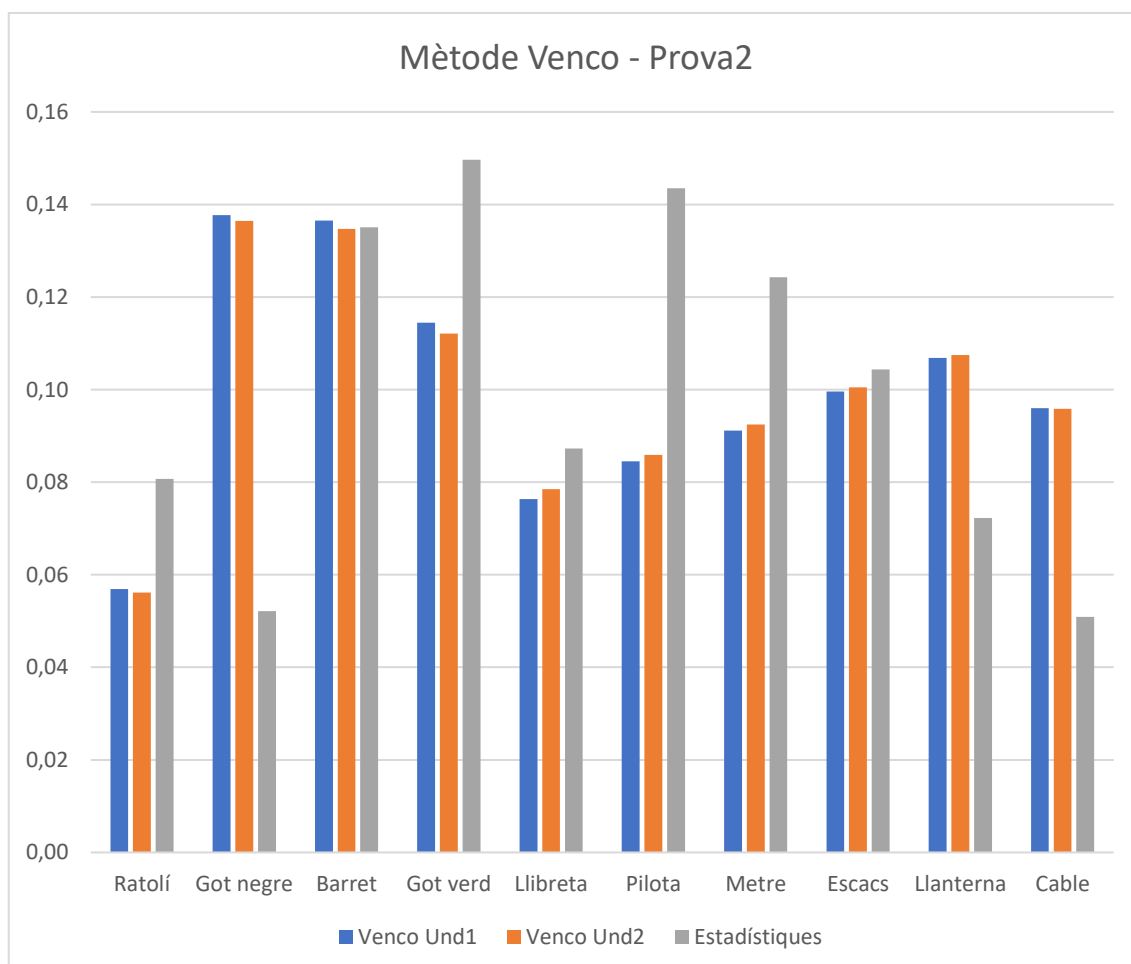
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa del Mètode Venco prova1 Undistorted1 i Undistorted2



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | Venco Und1 | Venco Und2 | Estadístiques | D | D |
|-----------|------------|------------|---------------|------|------|
| Ratolí | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,02 | 0,02 |
| Got negre | 0,14 | 0,14 | 0,05 | 0,09 | 0,08 |
| Barret | 0,14 | 0,13 | 0,14 | 0,00 | 0,00 |
| Got verd | 0,11 | 0,11 | 0,15 | 0,04 | 0,04 |
| Llibreta | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,01 | 0,01 |
| Pilota | 0,08 | 0,09 | 0,14 | 0,06 | 0,06 |
| Metre | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,03 | 0,03 |
| Escacs | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 0,00 |
| Llanterna | 0,11 | 0,11 | 0,07 | 0,03 | 0,04 |
| Cable | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,04 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,33 | 0,33 |

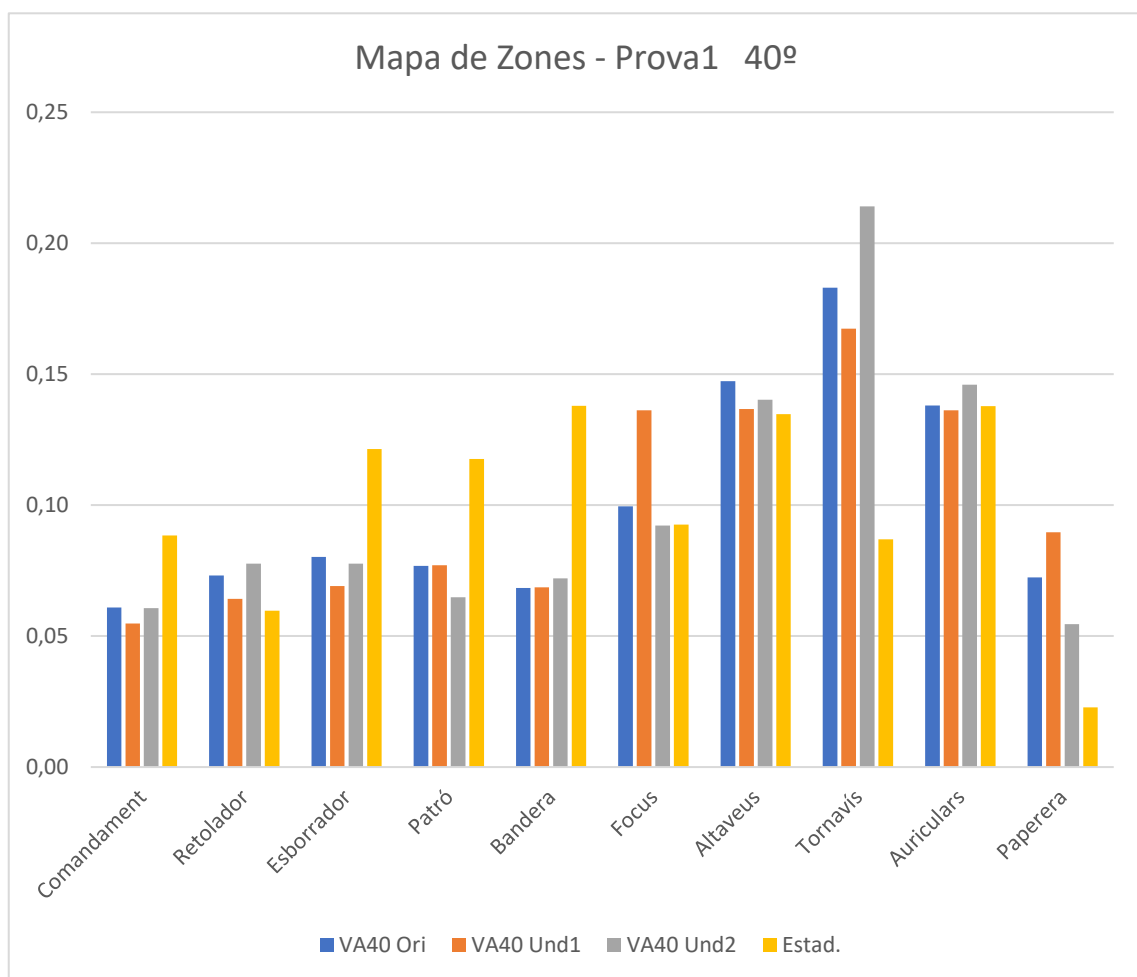
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa del Mètode Venco prov2 Undistorted1 i Undistorted2



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | VA40 Ori | VA40 Und1 | VA40 Und2 | Estad. | D | D | D |
|-------------|----------|-----------|-----------|--------|------|------|------|
| Comandament | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Retolador | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,01 | 0,00 | 0,02 |
| Esborrador | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,12 | 0,04 | 0,05 | 0,04 |
| Patró | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,12 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| Bandera | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,14 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| Focus | 0,10 | 0,14 | 0,09 | 0,09 | 0,01 | 0,04 | 0,00 |
| Altaveus | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 0,13 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |
| Tornavís | 0,18 | 0,17 | 0,21 | 0,09 | 0,10 | 0,08 | 0,13 |
| Auriculars | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Paperera | 0,07 | 0,09 | 0,05 | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,03 |
| SUMA | 1,00 | 0,09 | 1,00 | 1,00 | 0,36 | 0,39 | 0,38 |

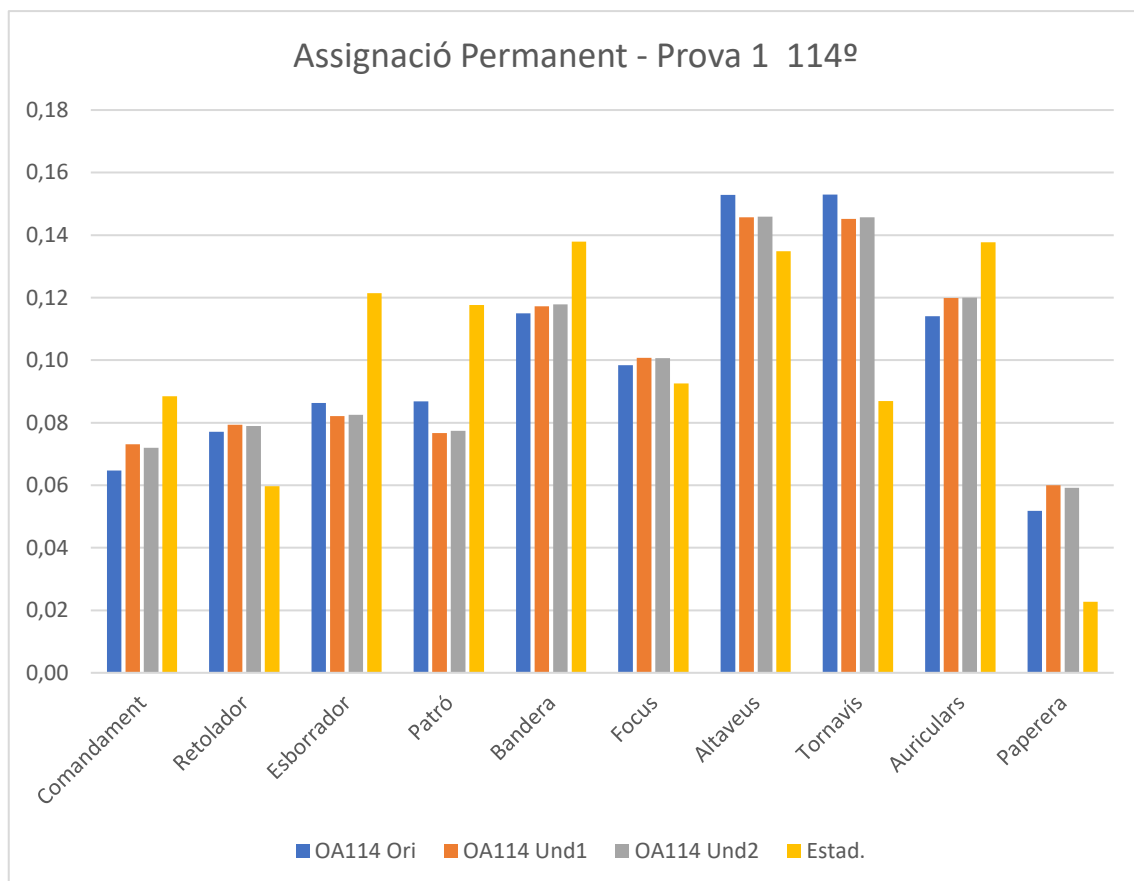
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa visualAreas.cpp angle 40 graus prova1



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | OA114 Ori | OA114 Und1 | OA114 Und2 | Estad. | D | D | D |
|-------------|-----------|------------|------------|--------|------|------|------|
| Comandament | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Retolador | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Esborrador | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Patró | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| Bandera | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Focus | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Altaveus | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,13 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| Tornavís | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,09 | 0,07 | 0,06 | 0,06 |
| Auriculars | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Paperera | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| SUMA | 1,00 | 0,09 | 1,00 | 1,00 | 0,27 | 0,27 | 0,27 |

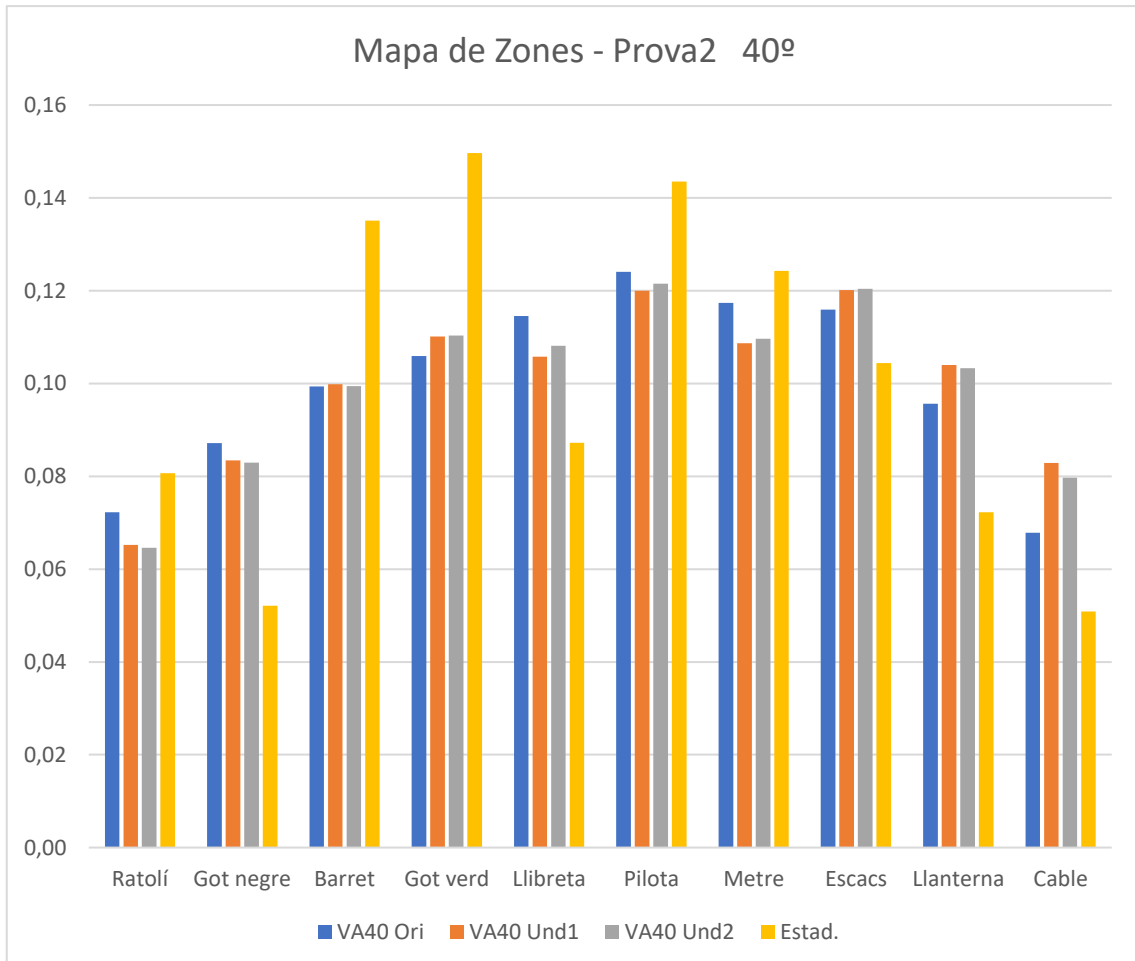
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa objectAssignment.cpp angle 114 graus prova1



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | VA40 Ori | VA40 Und1 | VA40 Und2 | Estad. | D | D | D |
|-----------|----------|-----------|-----------|--------|------|------|------|
| Ratolí | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Got negre | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,03 |
| Barret | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,14 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Got verd | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,15 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Llibreta | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,09 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| Pilota | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Metre | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| Escacs | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,10 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Llanterna | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,07 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| Cable | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| SUMA | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,23 | 0,26 | 0,26 |

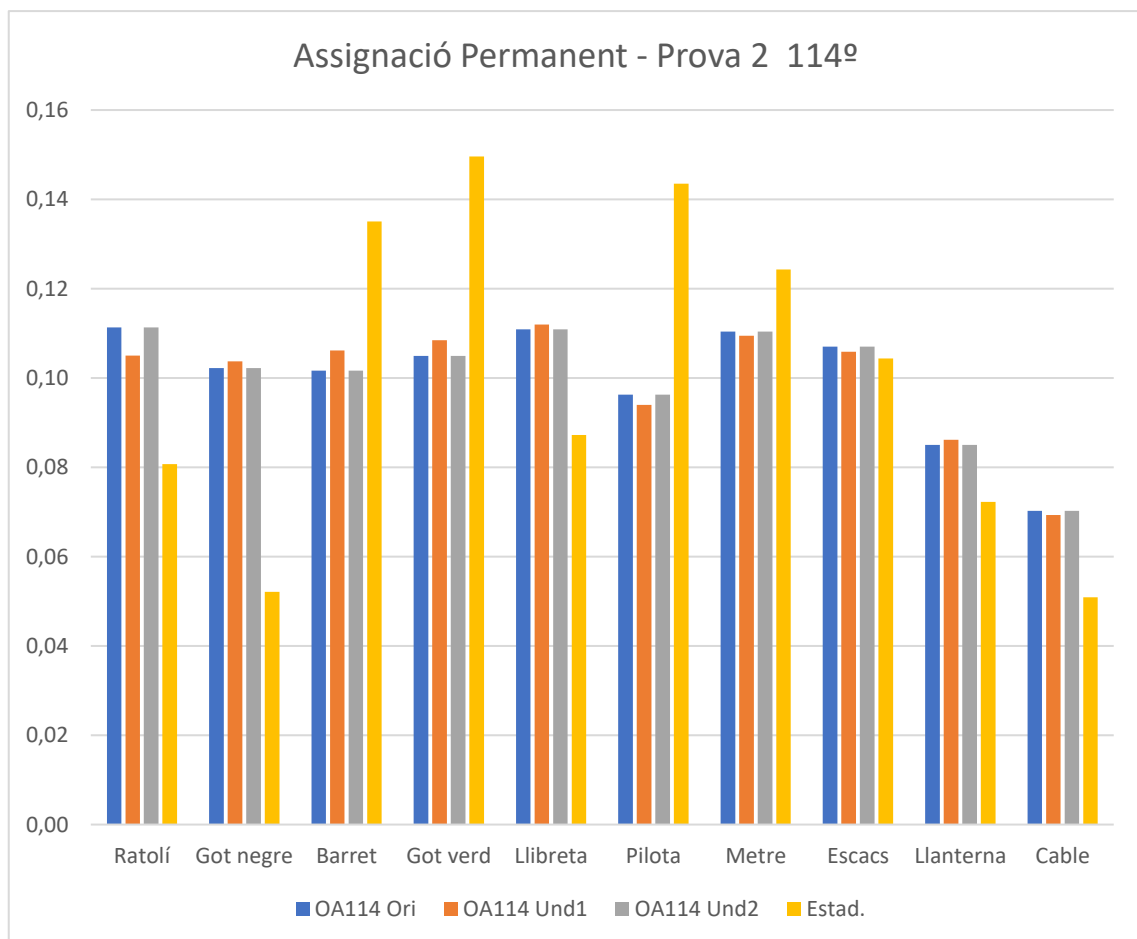
Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa visualAreas.cpp angle 40 graus prova2



Gràfic corresponent a la taula anterior

| Objectes | OA114 Ori | OA114 Und1 | OA114 Und2 | Estad. | D | D | D |
|-----------|-----------|------------|------------|--------|------|------|------|
| Ratolí | 0,11 | 0,10 | 0,11 | 0,08 | 0,03 | 0,02 | 0,03 |
| Got negre | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Barret | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,14 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Got verd | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,15 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Llibreta | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Pilota | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,14 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Metre | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Escacs | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Llanterna | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Cable | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| SUMA | 1,00 | 0,09 | 1,00 | 1,00 | 0,28 | 0,27 | 0,28 |

Taula: Resultats i diferències en valor absolut del programa objectAssignment.cpp angle 114 graus prova2



Gràfic corresponent a la taula anterior