

Capítulo 6. Aplicación del Algoritmo, Pruebas y Resultados

6.1 Introducción

Como se mencionó en el Capítulo 1, el problema se resuelve mediante dos métodos. El método en el que se detecta la posición del objeto mediante una sola cámara y el método en el que se usa más de una cámara. Se comenzará por describir los experimentos que se realizaron para el primer método así como resultados obtenidos, para proceder con los experimentos correspondientes al segundo método. La Figura 6.1 ilustra el planteamiento del problema para cada método.

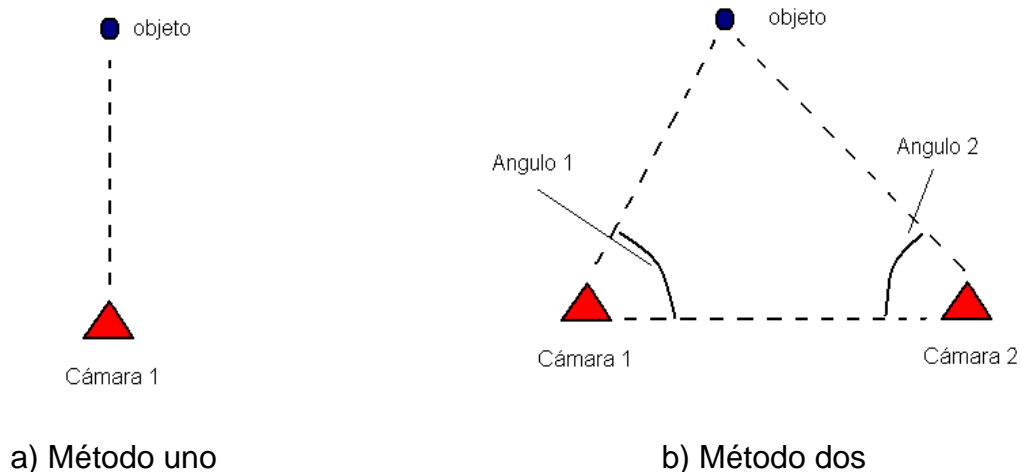


Figura 6.1 Métodos diferentes para calcular la distancia hacia un objeto

6.1.1 Método 1: Distancia de un objeto hacia una sola cámara.

El algoritmo correspondiente a este método se describe en los Capítulos 3 y 4. Los experimentos correspondientes a este método se realizaron bajo diferentes situaciones, cuando el objeto cambia de posición (profundidad), y

cuando el objeto presenta diferentes colores. Otra situación se da al variar la iluminación; sin embargo, la mayoría de las pruebas se realizaron con luz diurna.

Para probar el algoritmo se obtuvieron fotografías del objeto con la cámara digital Sony Cybershot DSC-W35. El objeto se colocó a diferentes distancias y en todos los casos se conocía previamente el tamaño del objeto y lo único que se varió fue su color. Después, se midió físicamente la distancia entre el objeto y la cámara con un metro flexible, para así, comparar la distancia calculada por el algoritmo con la distancia real.

Experimento uno:

El primer experimento consistió en usar 3 colores diferentes para el cilindro, en un interior con una cantidad abundante de colores, como se muestra en la Figura 6.2. Estas imágenes tuvieron una resolución de 539 x 404 píxeles a la hora de ser procesadas.



(a)



(b)



(c)

Figura 6.2 Diferentes colores para el objeto detectado

La Tabla 6.1 muestra una comparación de la distancia calculada por el algoritmo con la distancia medida físicamente. Esta tabla muestra las mediciones obtenidas para el caso del objeto de color verde. Conforme el objeto se hacía más pequeño, existía un poco más de variación en la medición para el caso de los colores rojo y amarillo, pues, como se puede ver en las fotografías de la Figura 6.2, es más probable que el algoritmo detecte píxeles de esos colores.

Tabla 6.1 Distancia real, distancia medida y error correspondiente a diferentes distancias medidas de la cámara a un cilindro de color verde en fotografías de 539 x 404 píxeles

Distancia real (cm)	Distancia programa (cm)	Error (%)
7.3	7.24	0.821918
8.3	8.21	1.084337
11	10.76	2.181818
14.5	14.31	1.310345
23.5	23.37	0.553191
26.3	25.8	1.901141
35.8	35.67	0.363128
77	78.1	1.428571
105	103.21	1.704762
137	152	10.94891
117	137.61	17.61538
97.6	96.33	1.30123
107.6	107.03	0.52974
124.5	131.36	5.51004
114	115.6	1.403509
126.5	131.36	3.841897
135	137.61	1.933333
141.9	144.5	1.832276
148	144.5	2.364865
152.5	144.5	5.245902
161	160.55	0.279503
170	170	0
183.4	180.62	1.515812
200.2	192.66	3.766234
194	192.66	0.690722
191.8	180.62	5.828989
192.8	180.62	6.317427
193.8	180.62	6.800826
211.5	192.66	8.907801
231	222.3	3.766234
263	240.83	8.429658
312	289	7.376635

Promediando el error correspondiente a cada medición, esta prueba arroja un error de %3.792133338; sin embargo, viendo los resultados para distancias mayores a 100 cm., el error es mucho más grande generalmente, mientras que para distancias menores es mucho más pequeño.

Experimento dos:

Con el fin de reducir el porcentaje error, se realizaron prueba con fotografías de mayor resolución, quedando como resolución para el algoritmo una de 2048 x 1536 píxeles, que es el equivalente a 3 megapíxeles. Los resultados obtenidos al realizar el segundo experimento se muestran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Distancia real, distancia medida y error correspondiente a diferentes distancias medidas de la cámara a un cilindro de color verde en fotografías de 2048 x 1536 píxeles bajo techo

Distancia real (cm)	Distancia programa (cm)	Error (%)
7,3	7	0,273972603
8,3	8,27	0,361445783
11	10,96	0,363636364
14,5	14	0,137931034
23,5	23	0,024680851
26,3	26	0,054752852
35,8	35,67	0,363128492
77	78	0,667142857
105	105	0,135619048
137	136	0,623430657
117	117	0,259401709
97,6	97	0,178790984
107,6	106	1,306877323
124,5	123	0,818313253
114	114	0,163947368
126,5	126	0,06229249
135	136	0,848814815
141,9	144	1,131148696
148	150	1,059932432
152,5	152	0,52104918
161	163	1,475217391
170	171	0,753117647
183,4	186	1,58391494

200,2	204	2,007392607
194	197	1,368659794
191,8	190	1,130448384
192,8	193	0,145020747
193,8	193	0,371723426
211,5	212	0,419669031
231	236	2,158528139
263	265	0,944676806
312	312	0,107275641

Como se puede observar en la Tabla 6.2, las distancias reales en el segundo experimento fueron lo más parecidas a las mostradas en la Tabla 6.1, para notar la diferencia en los resultados. Al analizar el error arrojado por este segundo experimento se ve que el algoritmo funciona mejor, pues el porcentaje promedio de error para este caso es de %0.703933979. Este porcentaje de error es 5,387058 menor que el porcentaje promedio de error de la Tabla 6.1.

Experimento tres:

El tercer experimento realizado fue en exteriores. El cambio es en la iluminación del objeto, ya que el sol recae directamente sobre el mismo. Se usó un cilindro rojo, con las mismas dimensiones que en los experimentos 1 y 2 y las distancias a las que se probó no fueron exactamente las mismas que en los experimentos anteriores, pero sí fueron dentro del mismo rango. La Figura 6.3 muestra una foto de la prueba y en la Tabla 6.3 se muestran 10 de los resultados obtenidos, así como el error correspondiente a cada caso.



Figura 6.3 Cilindro rojo en el exterior

Tabla 6.3 Distancia real, distancia medida y error correspondiente a diferentes distancias medidas de la cámara a un cilindro de color rojo en fotografías de 2048 x 1536 píxeles al aire libre.

Distancia real (cm)	Distancia programa (cm)	Error (%)
7.3	7	0.2739726
14.5	14	0.137931
23.5	23	0.0246809
26.3	26	0.0547529
97.6	97	0.178791
77	78	0.6671429
105	105	0.135619
117	117	0.2594017
114	114	0.1639474
124.5	123	0.8183133

Experimento cuatro

Con el fin de medir distancias más grandes., el experimento cuatro tuvo la misma dinámica que los demás, es decir, tomar fotografías a diferentes distancias, pero en esta ocasión se cambió el tamaño del objeto a medir. Para este caso se usó un cilindro de color azul de 16.45 centímetros de diámetro. En el

algoritmo, es necesario introducir la información para el tamaño del objeto en vista de que es una variable que se conoce previamente, pero los demás factores son constantes para todos los casos. Una de las fotografías utilizadas para la prueba se ve en la Figura 6.4.



Figura 6.4 Cilindro azul en el exterior

Y en la tabla 6.4 se muestran los resultados de 10 fotografías para esta prueba.

Tabla 6.4 Distancia real, distancia medida y error correspondiente a diferentes distancias medidas de la cámara a un cilindro más grande de color azul en fotografías de 2048 x 1536 píxeles al aire libre.

Distancia real (cm)	Distancia programa (cm)	Error (%)
20	19.9873	0.0635
25	25.3341	1.3364
33	32.908	0.278787879
46	46.312	0.67826087
81	82.1988	1.48
114	115.78	1.561403509
145	147.7659	1.907517241
206	209.8112	1.850097087
245	248.208	1.309387755
300	308.7466	2.915533333

El error obtenido total es de %1.3381, un poco mayor que el de la prueba anterior, debido a que el promedio de este error se hizo con menos resultados y con distancias más lejanas.

6.1.2 Método 2: Cálculo de la distancia de un objeto con dos cámaras.

Para la probar de este método, se realizaron dos experimentos. Uno fue al medir distancias pequeñas, dentro de una casa (distancias en centímetros) y otro más para medir distancias más grandes, al aire libre (distancias en metros). Se construyó un dispositivo muy sencillo consistente de un trípode para cámara, un transportador de 360 grados y un alambre, como indicador del ángulo. El transportador se fijó al centro del trípode y el alambre se fijó a la base giratoria donde se coloca la cámara. Entonces al girarla, también gira el alambre y por lo tanto indica el grado de giro de la base, ya que el transportador permanece inmóvil. La Figura 6.3 ilustra el dispositivo.



Figura 6.5 Dispositivo para medir ángulo de giro

Experimento uno:

El experimento consistió en colocar un objeto cualquiera en cierto punto del lugar de trabajo, desde donde pudiera ser avistado al menos desde dos puntos relativamente lejanos (no tan pocos centímetros). Entonces, se coloca el dispositivo medidor en uno de estos puntos con la base de la cámara colocada en 0° de giro, planteando una referencia libremente, mientras sea la misma para los dos puntos de medición. Luego se centra el objeto haciendo uso de la pantalla de la cámara, provocando un giro en la base, que es indicado por el alambre en el transportador. De este modo se obtiene uno de los ángulos necesarios para la aplicación de las fórmulas de las ecuaciones 5.7 ó 5.8. Posteriormente se realiza el mismo procedimiento para la otra cámara, obteniendo así el segundo ángulo. Se mide la distancia entre los dos puntos de observación.

Para este momento se cuenta con la información necesaria para la aplicación de la fórmula. En las Tablas 6.5 y 6.6 se muestran las mediciones reales, así como las calculadas por el programa de MATLAB. El error correspondiente a cada medición se muestra en la Tabla 6.7.

Tabla 6.5 Distancias reales en la triangulación (en centímetros)

Alfa Medido (real)	Beta medido (real)	Distancia AB real	Distancia AC medida	Distancia BC medida	Distancia RC medida
68	112	122	162	162	150
35	112	122	115	71	66
40	55	122	384	299	246
65	144	122	73	112	65
57	99	122	179	152	150
30	90	152	176	87	87
30	150	152	88	88	44
92	175	152	14	154	13
101	169	152	31	160	30
47	121	152	137	116	98

Tabla 6.6 Distancias calculadas en la triangulación (en centímetros)

Alfa calculado	Beta calculado	Distancia AB calculado	Distancia AC calculado	Distancia BC calculado	Distancia RC calculado
68	112	122	163	163	151
35	112	122	116	72	67
40	55	122	386	303	248
65	144	122	73	113	66
57	99	122	180	153	151
30	90	152	176	88	88
30	150	152	88	88	44
92	175	152	13	153	13
101	169	152	31	161	31
47	121	152	136	116	99

Tabla 6.7 Error correspondiente a las distancias AC, BC, RC (en porcentaje)

Error AC	Error BC	Error RC
0.51697531	0.51697531	0.653533333
0.94947826	1.15070423	0.89030303
0.5534375	1.33511706	0.892886179
0.07123288	0.57053571	1.857846154
0.60413408	0.59973684	0.686
0.27585227	0.87034483	0.870344828
0.27590909	0.27590909	0.275909091
3.7037037	0.61805195	1.192592593
0.90548387	0.5783125	0.675409836
1.06569343	0.30543103	1.150714286

Los porcentajes promedio de error para AC, BC y RC son de %0.89219004, %0.68211185 y %0.914553933, respectivamente. Todos menores al 1%.

Experimento dos:

El experimento de la prueba dos fue básicamente el mismo de la prueba uno, pero con distancias más grandes, y se realizó al aire libre con la finalidad de

tener más espacio. En este caso las distancias se midieron con hilo de cáñamo ya que el metro flexible no alcanzó para cubrir la totalidad de las mismas.

Tabla 6.8 Distancias reales en la triangulación exteriores (en metros)

Alfa medido (real)	Beta medido (real)	Distancia AB real	Distancia AC medida	Distancia BC medida	Distancia RC medida
57.5	44.5	10	7.44	8.92	6.23
29	67	10	9.47	5.08	4.62
50	68	10	10.75	8.91	8.37
71	74	10	17.88	17.63	16.6
70	88	10	15.32	11.24	11.24
11	13	10	5.63	4.81	1.07
88.5	32	10	7.75	14.22	7.49
82.5	44.5	10	9.17	12.67	8.79
41.5	38	10	6.39	6.76	4.24
19	110	10	12.18	4.29	4.03

Tabla 6.9 Distancias calculadas en la triangulación exteriores (en metros)

Alfa calculado	Beta calculado	Distancia AB calculado	Distancia AC calculado	Distancia BC calculado	Distancia RC calculado
57.5	44.5	10	7.1657	8.6223	6.0435
29	67	10	9.2558	4.8748	4.4873
50	68	10	10.501	8.676	8.0442
71	74	10	16.759	16.4846	15.846
70	88	10	15.2332	11.1477	11.1409
11	13	10	5.5306	4.6912	1.0553
88.5	32	10	6.1502	11.6019	6.1481
82.5	44.5	10	8.7763	12.4142	8.7013
41.5	38	10	6.2615	6.739	4.149
19	110	10	12.0916	4.1893	3.9366

Tabla 6.10 Error correspondiente a las distancias AC, BC, RC exteriores (en porcentaje)

error AC	Error BC	error RC
3.686828	3.337444	2.993579
2.26188	4.03937	2.872294
2.316279	2.626263	3.892473
6.269575	6.49688	4.542169
0.56658	0.821174	0.881673
1.765542	2.469854	1.373832
20.64258	18.41139	17.91589
4.293348	2.018942	1.009101
2.010955	0.310651	2.146226
0.72578	2.347319	2.317618

Los porcentajes promedio de error para las distancias AC, BC y RC fueron: %4.453935, %4.287929 y %3.994485, respectivamente. El porcentaje de error más grande se atribuye a las deficiencias en la medición, que se hacen más notables cuando las distancias crecen y el sistema de medición es muy sencillo.