



# Seguimiento y ubicación espacial de puntos por Estereovisión usando la Tecnología Nintendo Wii

Alejandro Muñoz Peñuela, Diego Fernando Navarro Prada y W.J. Sarmiento\*

## Resumen

Conceptos de Estereovisión han sido usados en seguimiento y ubicación espacial de objetos mediante triangulación con dos o más imágenes de una misma escena. Con el fin de garantizar un correcto funcionamiento, generalmente se controlan las condiciones de iluminación y se usan marcadores de fácil segmentación. Sin embargo, la implementación en versiones de bajo coste ha sido difícil, ya que las características técnicas de cámaras económicas (cámaras web) las hacen sensibles al ruido ambiental. Por otro lado, el uso del control de la consola de video juegos Nintendo wii (Wiimote) en distintas aplicaciones para PC se ha popularizado a partir de la distribución de librerías de desarrollo de código abierto. Este versátil dispositivo de juego cuenta con un puerto de comunicaciones bluetooth y una cámara infrarroja, entre otros dispositivos. Así, el bajo coste de un Wiimote planteó la posibilidad del uso de la cámara infrarroja presente en él, para diseñar un sistema de seguimiento y ubicación espacial. La propuesta presentada difiere del trabajo realizado por Johnny Lee principalmente por el uso simultaneo de dos Wiimote, empleando estereo visión en el seguimiento y ubicación de puntos. El desarrollo del sistema propuesto implicó una caracterización experimental de los parámetros de la cámara. La propuesta mostró un desempeño adecuado en un margen de error tolerable en varias aplicaciones.

## Palabras Clave:

Wiimote, rastreo de posición, triangulación, estereovisión.

## Abstract

Stereovision concepts have been used in monitoring and spatial location of objects by triangulation with two or more images of the same scene. To ensure proper operation, generally controlled lighting conditions and used markers easy segmentation. However, the implementation of low cost versions has been difficult because the technical characteristics of economic chambers (webcam) make them sensitive to environmental noise. On the other hand, the use of control video game console Nintendo Wii (Wiimote) on different PC applications become popular from the distribution of libraries of open source development. This versatile game controller has a bluetooth communications port and an infrared camera, and other devices. Thus, the low cost of a Wiimote raised the possibility of using the infrared camera present in it, to design a monitoring system and spatial location. The proposal differs from the work of Johnny Lee simultazneo mainly by the use of two Wiimote, using stereovision in tracking and tracing of points. The development of the proposal involves experimental characterization of the parameters of the camera. The proposal was adequate performance by a margin of error tolerable in many applications..

## Keywords:

Wiimote, location tracking, triangulation, stereovision..

"LAS NUEVAS  
TECNOLOGÍAS DE  
INFORMACIÓN Y  
COMUNICACIÓN:  
PROPUESTAS Y  
DESAFÍOS"

\*Grupo de Investigación  
en Multimedia, Universidad  
Militar Nueva Granada,  
Bogotá, Colombia  
gim@unimilitar.edu.co



II CONGRESO

INTERNACIONAL DE

COMPUTACIÓN Y

TELECOMUNICACIONES

COMTEL 2010



## I. Introducción

El Wii Remote Controller, mejor conocido como Wiimote, es un dispositivo de control de la consola de video juegos Wii desarrollado por Nintendo. El Wiimote tiene una forma similar a la de un control de televisión, mide 15 cm de largo por 3,6 cm de ancho y 3 cm de alto. Presenta un botón de encendido de la consola, una cruz direccional, botón A, botón B (parte posterior del Wiimote), botón 1, botón 2, botón Home, botón +, botón -, y el botón Sync para la conexión vía bluetooth. Adicional a esto, el Wiimote cuenta con un conjunto de funciones adicionales, como son la vibración mediante un rumble pack, el sonido mediante un pequeño parlante ubicado en el frente del Wiimote, y la posibilidad de conectarle dispositivos periféricos mediante un puerto en la parte inferior del control. También posee, tras el plástico que presenta en la parte superior (el cual es un filtro de infrarrojos), un sensor MOT (Multi-Object Tracking), desarrollado por la compañía FOXCONN, el cual se considera el único sensor válido del sistema. Éste puede rastrear de manera visual hasta 4 señales infrarrojas simultáneamente, en una resolución de 1 Megapixel, logrando rastrear coordenadas en intervalo [0-1023] en el eje horizontal y en intervalo [0 - 767] en el eje vertical. Los sensores ópticos del Wiimote localizan los puntos de luz infrarroja y con ellos delimita los extremos de una pantalla virtual. Esta pantalla virtual es el campo de acción relativa del control, de donde se envían datos de movimientos del puntero al sistema, dando la sensación de apuntar sobre el televisor, el telón o cualquier superficie que nos pueda servir como pantalla. Adicionalmente, este sistema logra complementar los datos adquiridos por el acelerómetro y el giroscopio, dispositivos también presentes en el Wiimote, mediante el análisis de la posición que tomen las luces infrarrojas respecto al control [1]. La creación de librerías de código abierto que logran la comunicación con el Wiimote desde un PC<sup>1</sup>, ha permitido el desarrollo de un gran número de aplicaciones en diferentes campos. Podemos mencionar proyectos en interacciones 3D en espacios inmersivos como la propuesta de Chow [2], en reconocimiento de gestos [3], sistemas de rastreo de movimiento para la cabeza [4],[5], las manos [6], ambos [7] o para puntos específicos [8], captura de movimiento [9] y puede llegar a tomar roles como dispositivo complementario en sistemas de inmersión virtual [10].

El rastreo de posiciones es una operación donde se sigue el desplazamiento de un objeto de interés dentro de una imagen, mediante el uso de un algoritmo o sistema de rastreo. Existen diferentes métodos para realizar este proceso, donde el uso de estereovisión es la técnica más usada. Ésta consiste en medir la disparidad presente al observar una escena en dos vistas monoculares. Estas disparidades permiten determinar la profundidad de los objetos si se conocen parámetros tanto internos como de ubicación de las cámaras [11].

Se han presentado otros proyectos que han usado el Wiimote como sistema de rastreo de posición. El más referenciado ha sido el desarrollado por Johnny Lee [1], quien propone un sistema con dos LED ubicados a una distancia conocida entre sí, lo que es equivalente al sensor bar que trae la consola Nintendo Wii. El sistema ubica la posición intermedia de los dos LED por medio de una relación entre la distancia de los puntos proyectados y la distancia real entre LED, usando el campo horizontal de visión para

<sup>1</sup> <http://www.wiimoteproject.com/>

estimar la ubicación en Z. Danyao Wang y Diego Huang [9], propusieron un sistema en el que se manejan dos Wiimote para formar la configuración típica para triangulación estéreo, y el método usado fue el de triangulación lineal basada en vectores propios y geometría epipolar [12].

Este documento propone el uso de dos Wiimote para la ubicación espacial de puntos en 3d usando Estereovisión. El aporte principal de este trabajo es el uso de método de triangulación simple y fácilmente reproducible, el cual se fundamenta en un modelo pinhole para modelar la cámara del Wiimote. El esquema general de la propuesta se describe en la sección II-A. Para esto se plantea un sistema de Estereovisión con una triangulación sencilla, fácilmente replicable, los detalles del método presentado son expuestos en la sección II-B. La sección III presenta una validación experimental, la cual incluye una caracterización de la cámara presente en el control, y la validación del sistema de rastreo. Por último, se presenta una sección de conclusiones y futuros trabajos.

## II. Sistema propuesto

### A. Esquema general

El sistema propuesto está inspirado en la morfología básica del sistema visual humano, donde cada uno de los ojos se encuentra ubicado uno al lado del otro, de manera simétrica en nuestro rostro. Es posible afirmar que nuestro sistema visual tiene como origen de coordenadas el punto ubicado en el centro de nuestro ojos, de esta manera el cerebro capta una disparidad entre las dos imágenes observadas lo que le permite percibir la sensación de profundidad. Se puede ver que este modelo es relativo a la posición de nuestro rostro. Si éste rota o se mueve, la percepción de ubicación espacial de los objetos cambia. De manera análoga, se ubican los dos controles de forma paralela a una distancia  $D$ , conocida, entre ellos. El origen de coordenadas estaría orientado como lo muestra la figura 1, por razones prácticas es posible desplazar el sistema en el eje Z para que inicie justo en el borde externo de los Wiimote.

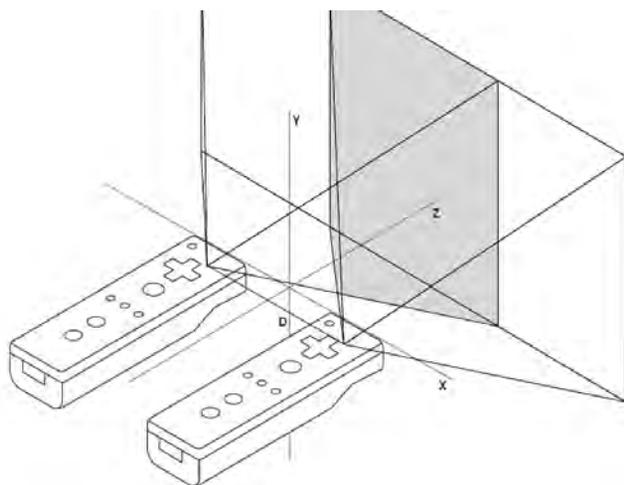
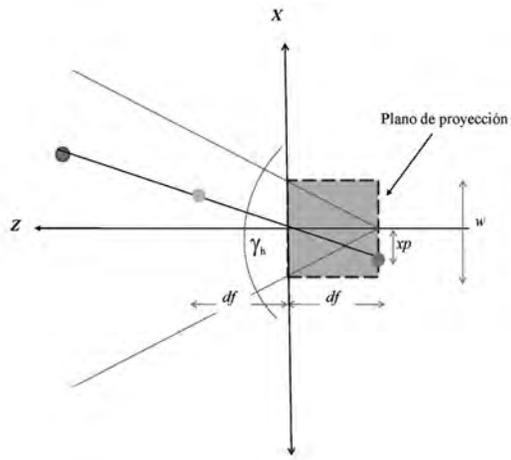


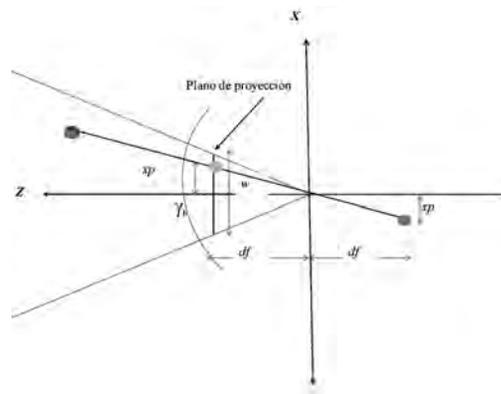
Figura 1. Esquema general para el sistema propuesto.



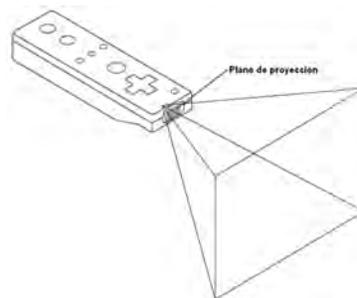
El sistema de coordenadas observadas será relativo a la ubicación de los controles de manera que el eje X siempre está ubicado en la línea que los une de manera horizontal, el eje Z apunta en la dirección que apuntan los dos controles, y el eje Y perpendicular a los anteriores. Ver figura 1.



(a)



(b)



(c)

Figura 2. (a) Cámara pinhole, (b) modelo pinhole y (c) modelo aplicado al Wiimote

Como se describió en la sección anterior, cada control posee un sensor MOT, cuyo componente principal es una cámara que permite captar luz infrarroja. Para este sistema se usó el modelo general de cámara pinhole. Este modelo es inspirado en cámara estenopeica, la cual es una caja negra con un agujero muy pequeño que hace la vez de lente: éste es el origen de su nombre en inglés pinhole (hueco de aguja). Un diagrama de esta cámara puede verse en la figura 2(a). Se puede observar que un punto real (azul) es proyectado ( $x_p$ ) de manera invertida en el plano de proyección.

El modelo computacional general de cámara estenopeica, o modelo pinhole, ubica el plano de proyección antes del lente, conservando la distancia focal, figura 2(b). Observe que la distancia  $x_p$  se conserva, con la ventaja de que el punto no se encuentra invertido. Aunque el modelo computacional más simple tiene como único parámetro la distancia focal,  $df$ , es posible agregar como restricción un ángulo máximo de visión en cada eje, conocidos como ángulos de apertura vertical y horizontal ( $\square_v$  y  $\square_h$ , respectivamente), los cuales definen una zona rectangular finita de tamaño  $W \times H$ , como el espacio posible de proyección. Esta zona es análoga a la película foto reveladora ubicada en la parte posterior de la cámara. En el Wiimote la analogía haría referencia al sensor fotosensible, el cual tiene una resolución de  $1024 \times 768$  pixeles. La figura 2(c) ilustra cómo el modelo pinhole es aplicado al Wiimote.

Este modelo ha sido el más usado tanto en aplicaciones de visión por computador como en sistema de generación de gráficos por computador y permite ignorar parámetros, muchas veces despreciables para las deformaciones observadas por aberraciones de los lentes [13][14].

## B. Triangulación

El método de triangulación propuesto puede verse en la figuras 3 y 4. Se parte del supuesto que se conoce la distancia focal de la cámara,  $df$ . Dado que la cámara tiene una resolución de  $1024 \times 768$ , puede realizarse una relación entre las coordenadas observadas por cada control y los ángulos  $\theta_1$  y  $\theta_2$  de la siguiente manera:

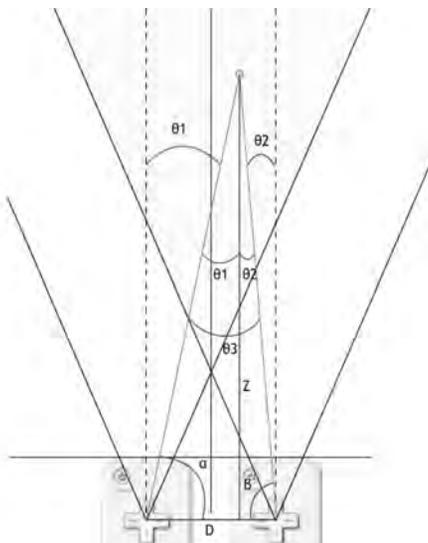


Figura 3. Diagrama de triangulación para  $\theta_1 * \theta_2 < 0$ .

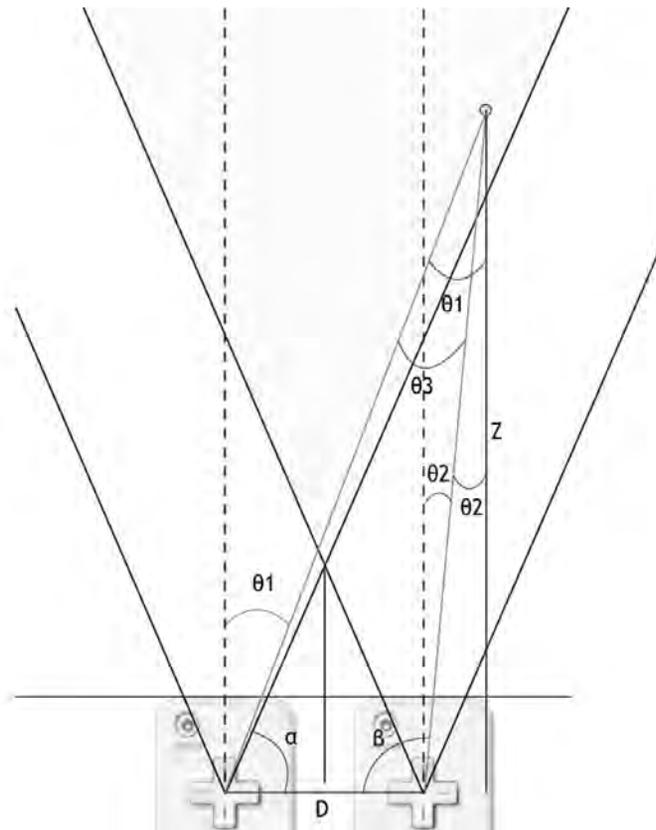


Figura 4. Diagrama de triangulación para  $\theta_1 * \theta_2 > 0$ .

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{512 - x_1}{df}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{512 - x_2}{df}\right)$$

$$\theta_y = \tan^{-1}\left(\frac{384 - y_1}{df}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{384 - y_2}{df}\right)$$

Donde  $x_1$  y  $x_2$  son las coordenadas horizontales observadas en cada uno de los controles y asumimos que las coordenadas verticales observadas son iguales en ambos, donde cualquier diferencia corresponde a incertidumbre propia del hardware, la cual es despreciable.

Si  $\theta_1 * \theta_2 < 0$ , se pueden ver la relación de ángulos en la figura 3, y es posible calcular  $\theta_3$ , como se indica a continuación:

$$\theta_3 = |\theta_1 + \theta_2|$$

Pero si  $\theta_1 * \theta_2 > 0$ , la relación de ángulos será la descrita en la figura 4, y  $\theta_3$  puede ser como:



$$\theta_3 = |\theta_1| + |\theta_2|$$

Por último tenemos:

$$Z = \cos(\theta_2) * A = \cos(\theta_1) * B$$

$$X = (\tan(\theta_1) * Z) - \frac{D}{2}$$

$$X = \tan(\theta_y) * Z$$

donde

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + \theta_1$$

$$\beta = \frac{\pi}{2} + \theta_2$$

$$A = \frac{\sin(\alpha) * D}{\sin(\theta_3)}$$

$$B = \frac{\sin(\beta) * D}{\sin(\theta_3)}$$

Para D la distancia entre los dos controles.

### C. Cobertura del sistema

Dado que el sistema requiere que el punto a ser ubicado sea observado por los dos controles, su cobertura real es el espacio en el que se obtienen señales infrarrojas simultáneamente y corresponde al volumen de la pirámide generada por la intersección de los volúmenes de visión formados por cada uno de los Wiimote. El volumen de intersección de ambas pirámides dependerá de la distancia entre los Wiimote medidos desde el centro del ancho del control (D), como muestra la figura 4, ya que la cámara se encuentra en esta misma posición.

De esta manera, entre mayor sea D menor será la cobertura del sistema. El mínimo valor posible para D, es la medida de ancho del Wiimote (36 mm), es decir, ubicar los dos Wiimote sin separación entre ellos. A medida que aumenta D, el ápice de la pirámide de cobertura se desplaza en el eje Z, disminuyendo su volumen, es por eso que D es una variable determinante a la hora de tener una óptima área de trabajo.

Otro parámetro importante en el volumen de la cobertura del sistema es la distancia efectiva del Wiimote. Algunos foros de usuario de Wii reportan un valor de 5 metros, pero una serie de pruebas realizadas mostraron que aunque a esta distancia se logra obtener señal, ésta no es muy precisa, lo que lleva a una variación alta y no controlada en los valores X, Y observados. Estas mismas pruebas arrojaron una distancia máxima ideal para obtención de señales infrarrojas de 3;5 metros, medidos desde el frente del Wiimote.

"LAS NUEVAS  
TECNOLOGÍAS DE  
INFORMACIÓN Y  
COMUNICACIÓN:  
PROPUESTAS Y  
DESAFÍOS"



### III. Validación experimental

#### A. Materiales

Para la validación del sistema usamos dos Wiimote conectados simultáneamente al PC mediante una tarjeta Bluetooth 2.0 USB Simply EDR con un driver Toshiba 5.x. Para la comunicación con el Wiimote se usó la librería wiiuse<sup>2</sup> mediante el puente (wrapper) para java wiiusej<sup>3</sup>.

Como puntos de seguimiento, se usaron LED infrarrojos 55Cf552, conectados a una batería de litio referencia CR2025 y una resistencia de 10 ohm, como indica la figura 5. Pruebas realizadas indicaron que es posible bajar el nivel de la resistencia, e incluso prescindir de ella, para aumentar la intensidad del LED.

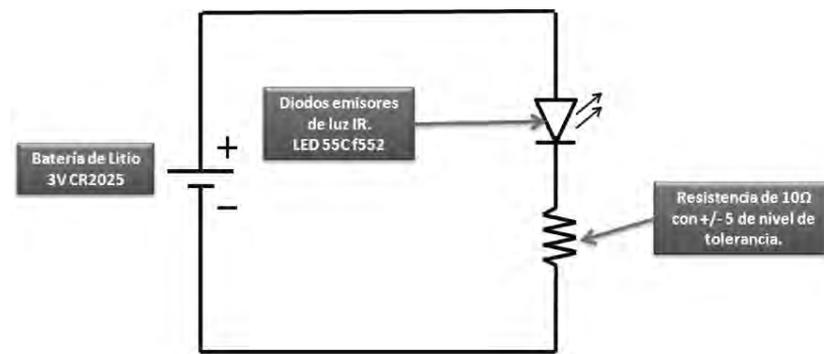


Figura 5. Diagrama del circuito de un punto de seguimiento.

#### B. Caracterización de la cámara

Aunque las especificaciones técnicas de la cámara IR del Wiimote no son de conocimiento público, algunas referencias indican la siguiente información [15]:

- Hardware: Sistema de rastreo IR Blob Tracking con seguimiento de hasta 4 puntos.
- Resolución: 1024 \_ 768.
- Frecuencia de Actualización 100Hz.
- Ángulo de apertura horizontal 45o.

Sin embargo, recientemente foros de desarrolladores<sup>4</sup> señalan diferencias en el ángulo de apertura, encontrándose valores reportados entre 41o y 43o. Dado que este valor determina la distancia focal ( $df$ ), la cual es un parámetro sensible del proceso de triangulación descrito en la sección IIB, se propuso una experimentación para determinar el ángulo de apertura horizontal.

2 <http://wiiuse.net/>  
3 <http://code.google.com/p/wiiusej/>  
4 <http://www.wiimoteproject.com/>

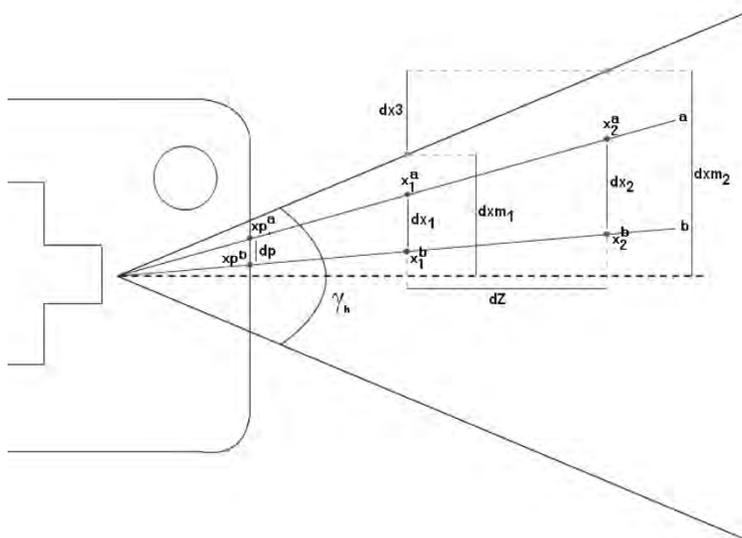


Figura 6. Esquema experimental para hallar  $df$

El experimento planteado se ilustra en la figura 6. Debido a que es imposible ubicar de manera exacta la línea central de proyección horizontal (línea azul punteada) se determinaron dos líneas distintas de proyección a y b (líneas verdes). Observe que cualquier punto sobre una misma línea de visión será proyectado sobre un único punto en el plano de proyección. Así, de  $x_1^a$  y  $x_2^a$  corresponden a  $x_p^a$ , de igual manera sucede con  $x_1^b$  y  $x_2^b$  que son proyectados sobre  $x_p^b$ . Para cada línea de proyección se ubicaron dos puntos a una distancia  $z_1$  y  $z_2$  conocidas, y medidas desde el borde del control. Se midió la diferencia vertical para cada valor de  $z$ , es decir  $dx_1$  y  $dx_2$ . Usando el software de prueba de la librería wiiusej, se determinó  $dp$ . Observe que  $dp$  tendrá el mismo valor sin importar la distancia  $z$  de los puntos observados. Aunque el esquema sugiere que es posible calcular  $df$  dada una relación entre triángulos, no hay que olvidar que  $dp$  está en unidades lógicas de sensor de la cámara, pixeles, y dimensionalmente no son comparables con unidades de medida tomadas en mm. Por esta razón, es necesario estimar  $dxm_1$  y  $dxm_2$ , como se indica a continuación, teniendo en cuenta que se conoce la máxima variación horizontal posible medida por la cámara (1024).

$$dxm_1 = \frac{dx_1 * 512}{dp}$$

$$dxm_2 = \frac{dx_2 * 512}{dp}$$

ahora es posible calcular el ángulo de apertura horizontal ( $\gamma_h$ ) de la siguiente manera:

$$\gamma_h = 2 * \tan^{-1} \left( \frac{dx_3}{dz} \right)$$

donde  $dx_3 = dxm_2 - dxm_1$ . Por último, la distancia focal se calcula como:



$$df = \frac{512}{\tan\left(\frac{\gamma_h}{2}\right)}$$

El experimento desarrollado permitió determinar un valor para  $\gamma_h = 41,8^\circ$  y  $df = 1340$  unidades de pixel.

### C. Validación del sistema de rastreo

Se ubicaron los dos Wiimote de acuerdo con el sistema propuesto en la sección II, paralelamente sobre el eje de coordenadas X a una distancia D conocida. Sobre una lámina plástica fueron ubicados 5 LED en cruz con una separación de 70 mm entre el LED central y cada uno de los 4 extremos, para cada LED se replicó el circuito descrito con anterioridad, la lámina fue fijada de manera horizontal a un trípode, como se observa en la figura 7.

Este montaje fue ubicado perpendicularmente a los controles a una distancia de 700 mm del origen del sistema, tomado este valor como distancia de referencia. Usando el método descrito en la sección II, se estimó la posición de los 5 puntos. La anterior permite tomar como referencia la posición estimada de este LED central, la cual es usada como punto P0. Luego el sistema fue desplazado 70 mm hacia atrás repitiendo la medición. El proceso se ilustra en la figura 8.

Se cálculo la diferencia entre cada posición estimada y el punto P0, la cual se esperaba fuera de 70 mm en cada eje. Estas mediciones se repitieron para 3 valores diferentes de separación de los controles. Los resultados se pueden observar en la tabla I, la cual presenta los errores promedios en cada uno de los ejes (X, Y, Z) para cada valor de D usado, donde el error se calculó como:

$$E_x = \frac{|p_{x1} - p_{x2}|}{70} * 100$$

Se puede observar que a medida que aumenta la separación entre los controles el desempeño medido aumenta.



Figura 7. Lámina de experimentación

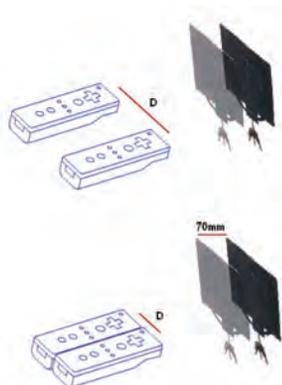


Figura 8. Esquema experimentación.

## IV. Conclusiones y trabajos futuros

Se propone un sistema de rastreo de puntos en tres dimensiones a través de Estererovisión usando las cámaras infrarrojas presentes en los controles del Nintendo Wii, Wiimote. La propuesta es una alternativa de bajo coste.

TABLA I: RESULTADOS EXPERIMENTALES

D	Ex	Ey	Ez	E Total
36 mm	53,85%	23,91%	7,67%	28,48
75 mm	4,63%	3,79%	83,76%	30,73
115 mm	11,39%	9,7%	32,01%	17,7

Actualmente, no supera los 200 dólares equivalentes al coste de los dos Wiimote, el dispositivo de conexión Bluetooth, y una reserva de LED con sus correspondientes baterías. Los resultados experimentales permiten definir un error de 17% a una distancia de 115 mm entre los controles. Se observó que a mayor distancia entre los controles el error se reduce, debido a que entre más cerca están los controles, la base del triángulo ( $D$ ) es más pequeña y el ángulo  $\theta_3$ , que mide la disparidad del punto observado por las cámaras, será más agudo. De esta manera, cualquier variación en unidad de pixel observadas, en el eje  $x$ , generará una gran variación en  $\theta_3$ , lo que hace al sistema más susceptible a un posible ruido en la captura de la señal.

Para asegurar el buen funcionamiento del sistema, es importante realizar la calibración previa, que consiste en la ubicación de los Wiimote a una distancia conocida ( $D$ ), asegurando que están perfectamente paralelos, ya que una rotación en un Wiimote, por pequeña que sea, haría inválido el método de triangulación. Aunque es posible agregar como parámetro el ángulo entre los controles, su medición es poco precisa, lo que agregaría error en las estimaciones realizadas. Se aconseja fijar los Wiimote con una estructura rígida que impida cualquier movimiento inoportuno, que obligue a recalibrar el sistema.



Debido a que constantemente se producen nuevos lotes de Wiimotes, es posible que varíen un poco las especificaciones del mismo, por lo que es conveniente revisar que los dos Wiimote a usar sean del mismo modelo o lote, minimizando la posibilidad de variación en sus especificaciones y de esta manera evitar un aumento en el error. Por lo anterior, también es importante determinar los ángulos de apertura de la cámara y su distancia focal para cada control, ya que es un parámetro fundamental del método propuesto.

Como cualquier modelo óptico de rastreo de puntos, es necesario que exista vista directa entre el punto a ser ubicado y las cámaras. Este problema puede ser solucionado bajo dos alternativas complementarias, las cuales se plantea incluirlas en nuevas versiones del sistema. La primera, introducir más cámaras ubicadas de manera adecuada, así, cuando el punto es perdido por una de ellas, puede ser visible por otra. La otra estrategia es incluir un algoritmo de interpolación, que permita estimar de manera aproximada la posición del punto a través de su histórico, mientras éste vuelve a ser visible por las cámaras.

Las ventajas que posee el sistema propuesto es que, al ser un sistema óptico, puede ser usado en lugares donde el ruido magnético no es controlado o no es posible alterar el campo magnético del ambiente. Además, al ser un sistema que trabaja en el espectro infrarrojo el ruido ambiental es más bajo que el que presenta un sistema en el espectro visible, teniendo en cuenta que los LED IR comerciales emiten radiación electromagnética muy por encima que de la radiación IR emitida de manera natural. El sistema propuesto se está probando para su uso en sistemas inmersivos con el fin de seguir la posición de la cabeza, manos, o cualquier otra parte del cuerpo que pudiera llevar a una interacción que pueda disparar eventos de aplicaciones, mover o señalar objetos o definir direcciones de navegación [13][16].

## Referencias

- [1] J. C. Lee., "Hacking the nintendo wii remote." IEEE Pervasive Computing., vol. Volume 7, Issue 3., pp. 39-45, 2008.
- [2] Y.-W. Chow., "The wii remote as an input device for 3d interaction in immersive head-mounted display virtual reality." in Proceedings of the IADIS International Conference Gaming 2008., 2008.
- [3] D. Cochard and K. Pham., "Navigation in a 3d environment: Using the wiimote to map natural gestures."
- [4] E. Foxlin, "Head-tracking relative to a moving vehicle or simulator platform using differential inertial sensors," in Proceedings of Helmet and Head-Mounted Displays V, SPIE vol. 4021, AeroSense Symposium, 2000.
- [5] J. Frohnmayer, R. Blach, T. Gleue, and N. Frangakis., "Wiitrack – an evaluation of a low cost head tracking based on the wiimote."



- [6] M. P. Wronski., "Design and implementation of a hand tracking interface using the nintendo wii remote."
- [7] G. Vural, G. Tekkaya, and C. Erogul., "Using head and finger tracking with wiimote for google earth control."
- [8] R. Wimmer, S. Boring, and J. Mller., "Tracking the wiimote in 3d using artoolkit."
- [9] D. Wang and D. Huang., "Low-cost motion capturing using Nintendo wii remote controllers." 2008.
- [10] A. Murgia, R. Wolff, P. Sharkey, and B. Clark., "Low-cost optical tracking for immersive collaboration in the cave using the wii remote." in Proceedings of the 7th ICDVRAT with ArtAbilitation, Maia, Portugal., 2008.
- [11] L. C. Wan, P. Sebastian, and Y. V. Voon., "Stereo vision tracking system." in 2009 International Conference on Future Computer and Communication., Abri. 2005., pp. 487–491.
- [12] R. Hartley and P. Sturm., "Triangulation." Computer Vision and Image Understanding., vol. Volume 68, Issue 2., pp. 146–157, 1997.
- [13] C. Quintero, W. Sarmiento, and E. Sierra-Ballén., "Low cost cave simplified system," in Proceedings of International Conference on Human Computer Interaction, HCI 2007, 2006, pp. 860–864.
- [14] W. Sarmiento and C. Quintero, "Panoramic immersive videos, 3d production and visualization framework," in Proceedings of International Conference on Signal Processing and Multimedia Application, SIGMAP 2009, 2009, pp. 173–177.
- [15] J. C. Lee., "Interaction techniques using the wii remote (and other hci projects)." Human Computer Interaction Institute., 2008.
- [16] C. Quintero, E. Sierra-Ballén, and W. Sarmiento, "Diseño de un prototipo de sistema de realidad virtual inmersivo simplificado," Ciencia e ingeniería neogranadina, vol. 18, no. 1, pp. 35–50, 2008.

"LAS NUEVAS  
TECNOLOGÍAS DE  
INFORMACIÓN Y  
COMUNICACIÓN:  
PROPUESTAS Y  
DESAFÍOS"