

## PRIMER PASO PARA CREAR UN LABORATORIO VIRTUAL DE FÍSICA BASADO EN VISIÓN POR COMPUTADOR.

### Physics Virtual Laboratory based on Computer Vision, the first step.

#### RESUMEN

En la enseñanza de la Física es imprescindible contar con espacios en donde el aprendiz pueda asimilar y comprobar los conceptos con los que se topa en la teoría. Muchas veces estos laboratorios no son suficientes, sin contar que por factores externos no siempre se obtienen los resultados deseados. Es así como se propone la creación de un laboratorio virtual que pueda ser relacionado con un escenario real por medio de técnicas de visión por computador Direct Linear Transformation. Inicialmente se mide la posición y el tiempo localizando patrones reconocibles en secuencias de imágenes. Se obtuvo una incertidumbre de  $\pm 1,5$  mm para la posición, con una frecuencia de captura de 30 frames por segundo; lo que otorga una resolución en tiempo de 33,3 ms.

**PALABRAS CLAVES:** Visión Estéreo, Visión por Computador, DLT, Laboratorio Virtual.

#### ABSTRACT

*In the teaching of physics is essential to have places where the student can assimilate and test the concepts learned from books. Often these labs are not enough not counting that external factors do not always get the desired results. Thus, is proposed to create a virtual lab linked to a real scenario using computer vision techniques (Direct Linear Transformation). Initially were measured position and time locating recognizable patterns in image sequences. Was obtained an uncertainty of  $\pm 1.5$  mm for the position, with a frequency of capture of 30 frames per second, which gives a time resolution of 33.3 ms.*

**KEYWORDS:** Stereo Vision, Computer Vision, DLT, Virtual Laboratory.

#### WALTER SERNA SERNA

Ingeniero Físico,  
Candidato M.Sc. Instrumentación Física  
Docente Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
wserna@utp.edu.co

#### JUAN PABLO TRUJILLO LEMUS

Ingeniero Físico,  
Candidato M.Sc. Instrumentación Física  
Docente Auxiliar  
Universidad Tecnológica de Pereira  
jtrujillo@utp.edu.co

#### JORGE HERNANDO RIVERA PIEDRAHITA

Ingeniero Electrónico,  
Universidad Nacional de Manizales  
M.Sc. Instrumentación Física  
Profesor Asociado  
Universidad Tecnológica de Pereira  
j.rivera@utp.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de las ciencias básicas y en especial la Física que se encarga de estudiar las propiedades de las interacciones, el espacio, la materia y la energía; es fundamental para cualquier individuo en su formación tanto en secundaria como en una carrera profesional, así como la formación científica e investigativa.

Dicho aprendizaje debe realizarse de 2 maneras por parte del alumno, de una forma teórica y otra experimental, donde juega un papel importante el proceso de la enseñanza-aprendizaje. Las clases o cátedras teóricas impartidas por el maestro de física deben estar apoyadas en las prácticas experimentales donde los estudiantes pueden aplicar, comprobar y afianzar el conocimiento, asimismo como desarrollar habilidades.

De igual manera es de gran importancia para las instituciones educativas contar con laboratorios de física para la demostración y práctica de los fenómenos físicos que se presentan en la naturaleza, en los cuales los

alumnos pueden aplicar y verificar los conocimientos adquiridos en la clase teórica.

Sin embargo en algunos centros educativos las disponibilidades de experimentación son limitadas ya sea porque no cuentan con los recursos financieros para la creación y mantenimiento del espacio físico, equipamiento, capacitación para los docentes entre otros; o las limitaciones que tienen los alumnos al realizar pocas prácticas en las que puedan ver de un modo directo la validez y aplicabilidad del conocimiento adquirido en clase. Lo anterior sin contar con otras limitaciones que tienen las prácticas de laboratorio de física en las cuales los estudiantes al utilizar instrumentos de medida deben tener unas condiciones óptimas para la toma de datos, como por ejemplo que los equipos deben estar calibrados y en cierto rango de temperatura, humedad, presión, etc.

En la actualidad se viene implementando el uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TICs), la informática y los ordenadores en los procesos educativos.

La ventaja de trabajar con dichas herramientas le permite a las instituciones educativas no solo invertir cada vez menos recursos económicos en los laboratorios de física, sino también la enseñanza se presenta de una forma más atractiva mediante modelos interactivos que motivan y ayudan a los jóvenes a generar y concretar conocimientos y conceptos, los cuales se complementan con la enseñanza tradicional.

Es así como se plantea la creación de un laboratorio virtual de física con el fin de solucionar las necesidades y obstáculos mencionados anteriormente, aprovechando el espacio real con la interacción de la simulación virtual para las prácticas de laboratorio enfocadas a la física mecánica.

Para estudiar casos exitosos y otras ventajas de los laboratorios virtuales se recomienda ver [1][2][3].

## 2. PROPUESTA

El objetivo principal es poder relacionar un espacio físico real tridimensional con un espacio virtual, logrando que todo lo que suceda en el espacio real afecte los elementos introducidos en el virtual. En otras palabras, si se digitaliza un espacio real con todos sus elementos, será posible complementarlo con otra infinidad de elementos virtuales que permitan analizar cualquier tipo de situación básica o extrema relacionada con la mecánica. Lo interesante es el hecho de poder crear cualquier tipo de experimento a partir de unas herramientas básicas en un laboratorio y poder responder al tipo de preguntas *¿Qué pasaría si...?.* Así pues, será posible planear inicialmente un experimento y a medida que se comprueben etapas con el módulo virtual, se podrá ir implementando su correspondiente objeto real.

Inicialmente se plantea un sistema para el registro de espacios reales en tres dimensiones a partir de volúmenes de control con sistemas de visión estéreo (elementos cuyas dimensiones son conocidas para el sistema), para un posterior seguimiento de objetos que son señalados con una serie de marcas geométricas reconocibles por cámaras digitales. Las variables a medir son la posición y el tiempo con las cuales se pueden simular prácticas como: Ley de Hooke, péndulo Simple, péndulo doble, movimiento uniformemente acelerado, plano inclinado, Segunda Ley de Newton, cinemática, dinámica de translación, movimiento circular, trabajo y energía, vectores, sistemas de coordenadas y marcos de referencia, entre cualquier otra infinidad de experimento que el usuario desee implementar.

Vale la pena recalcar que los fenómenos de las prácticas solo se pueden visualizar en el monitor del ordenador. No es posible que los objetos virtuales tengan algún efecto sobre los objetos reales.

## 3. ELEMENTOS DEL LABORATORIO VIRTUAL

El laboratorio consta de un conjunto de marcas geométricas negras sobre un pequeño recuadro blanco, que pueden ser superpuestas sobre cualquier tipo de objeto que se quiera capturar por un conjunto de cámaras digitales (como mínimo dos cámaras). A futuro se pretende implementar otro tipo de marcas que no presente ningún tipo de obstáculo, o la posibilidad de no tener que usar ningún tipo de marcador por el hecho de usar cámaras digitales.

Es necesario que las cámaras tengan la posibilidad de fijarse a algún tipo de base para garantizar un correcto y preciso funcionamiento del sistema de visión estéreo.

Este económico sistema permite usar cualquier tipo de objeto como parte de una práctica, y en caso de no contar con algún elemento, podrá ser implementado de manera virtual.

## 4. MEDICIÓN DE POSICIÓN Y TIEMPO

Para el sistema de visión estéreo se implementó el algoritmo Direct Linear Transformation (DLT) [6][7], que permite identificar la ubicación entre cada una de las cámaras que conforman el sistema para posteriormente poder triangular cualquier punto del espacio real a partir de sus proyecciones. Esto se logra al conocer la morfología de algún objeto o volumen de control presente en el espacio a digitalizar.

El volumen de control permite la inicialización y calibración de cada una de las cámaras. Se entiende por calibración la determinación de una matriz única para cada cámara que permitirá convertir las coordenadas del espacio real a un sistema de coordenadas bidimensional cuyo origen puede ser la esquina superior izquierda de la imagen, como se muestra en la ecuación (1).

$$x_{2D} = Mx_{3D} \quad (1)$$

Donde  $x_{3D}$  es un punto o conjunto de puntos en el sistema tridimensional y  $x_{2D}$  es una proyección del punto 3D según  $M$ , que es una matriz de transformación 3x3. Cuyos parámetros pueden ser obtenidos con el uso de mínimos cuadrados:

$$M = (x_{2D} \cdot x_{2D}^T)^{-1} \cdot (x_{2D}^T \cdot x_{3D}) \quad (2)$$

Entre más puntos se conozca del espacio tridimensional más redundante será la ecuación y tendrá una mejor resolución. Como mínimo se requieren seis puntos gracias a la simetría de la matriz.

Una vez se obtengan las matrices de transformación para cada cámara se podrá poner en funcionamiento el sistema. Ahora cualquier punto visible sobre todas las

proyecciones podrá ser transformado a su correspondiente en el espacio 3D. Para esto se hace uso nuevamente de los mínimos cuadrados, de manera que entre más proyecciones se tenga, más redundante será la ecuación y se podrá obtener una mayor precisión.

Es importante mencionar que la precisión del sistema dependerá de una buena inicialización de las cámaras. Así pues es muy importante que los puntos escogidos sobre las imágenes, en realidad sean los de su correspondiente en el espacio 3D.

El algoritmo DLT es muy eficiente y rápido, pero se debe tener en cuenta que DLT tiene como parámetros de entrada los puntos proyectados sobre las imágenes de cada cámara. Es decir que se hace necesario el uso de otro algoritmo para determinar si un punto se encuentra sobre todas las imágenes capturadas en un mismo instante de tiempo. En este momento es donde se hace necesario el uso de las marcas geométricas sobre los objetos a seguir. Su forma consta de muchas esquinas cuyas ubicaciones son conocidas.

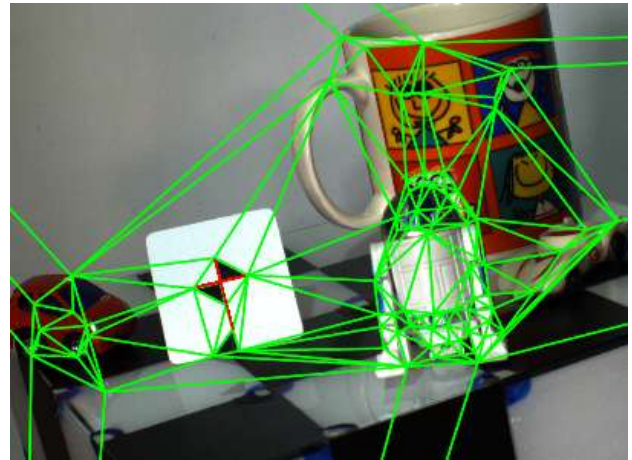
Estas esquinas son buscadas en cada imagen con el algoritmo propuesto por Harris [8], que se basa en el análisis de los gradientes de la imagen y en la suposición que en una esquina la intensidad variará en todas las direcciones. El resultado obtenido es una secuencia de puntos con sus respectivas coordenadas en dos dimensiones para cada imagen capturada (Ver Figura 1), pero aún no se ha establecido cuáles son las esquinas que pertenecen a los marcadores, ni tampoco cuál es la correspondencia entre puntos de las otras imágenes.



**Figura 1.** Detección de esquinas con Harris.

Delaunay [9] propone un algoritmo para la triangulación entre una nube de puntos en dos dimensiones, de forma tal que se obtiene una conexión con los vecinos más cercanos, de esta forma se genera un conjunto de triángulos que serán como una huella digital para cada objeto en la imagen. Gracias a que se conoce la forma de los marcadores, es posible caminar entre los triángulos generados para hallar la respectiva huella digital (Ver

Figura 2). Una vez hallados los puntos que representan las esquinas de los marcadores en cada una de las imágenes, será muy sencillo relacionarlos con los de las otras imágenes para poder aplicar DLT y encontrar las coordenadas en tres dimensiones.



**Figura 2.** Conexión de puntos con Delaunay.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

Para el cálculo de la incertidumbre del sistema, se efectuó un procedimiento por método de comparación en donde se midió continuamente durante cierto periodo de tiempo la posición de un marcador geométrico respecto a un origen [10]. Así pues, fue posible analizar estadísticamente los datos obtenidos. Se obtuvo una incertidumbre de  $\pm 1,5$  mm para la posición, con una frecuencia de captura de 30 frames por segundo; lo que otorga una resolución en tiempo de 33,3 ms.

Se considera estos resultados como una buena aproximación inicial para el tipo de prácticas que se realizarán con el sistema de visión estéreo.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se pretende estimular el desarrollo de nuevas herramientas que contribuyan a la enseñanza de la física, a través de un sistema de visión estéreo que permite digitalizar espacios tridimensionales para el seguimiento de objetos. Así pues, en un futuro poder complementar este ambiente digitalizado con las leyes fundamentales de la física que brinden una experiencia real para la percepción de fenómenos naturales.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] JIMOYIANNIS, A., KOMIS, V., "Computer simulations in physics teaching and learning". Computers & Education 36, 183-204, 2001
- [2] NÚÑEZ M.J., et al., "Lectures on Computer Assisted Modelling in Physics", Proc. 3<sup>rd</sup> International Conference on Hands-on Science, Braga, Portugal, September, 2006

- [3] ESQUEMBRE, F, Creación de Simulaciones Interactivas en Java. Aplicación a la Enseñanza de la Física, Pearson Education, 2005.
- [4]Cygank, Bogustaw. Siebert, J. Paul. An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms. Wiley. 2009
- [5]Zhang, Zhengyou. Camera Calibration. Emergion Topics in Computer Vision.
- [6] Abdel-Aziz, Y.I., & Karara, H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry (pp. 1-18)*. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- [7] Kwon, Y.-H. (1994). *KWON3D Motion Analysis Package 2.1 User's Reference Manual*. Anyang, Korea: V-TEK Corporation.
- [8]C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference* (pp. 147–151), 1988.
- [9] B. Delaunay, "Sur la sphère vide," *Izvestia Akademii Nauk SSSR, Otdelenie Matematicheskikh i Estestvennykh Nauk* 7 (1934): 793–800.
- [10]Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAP, IUPAC, OIML (1995).