

INTERACCIÓN HUMANO COMPUTADOR: UN MÉTODO PARA EL RECONOCIMIENTO DE GESTOS DE LA MANO A PARTIR DE IMÁGENES

Juan Pablo Luna Felipez, Ph.D.

jplunaf@gmail.com

Ingeniería Informática

Universidad Nacional “Siglo XX”

Llallagua, Bolivia

Resumen- *Mejorar las interfaces de interacción entre el humano y la computadora es una actividad que se busca desarrollar de forma constante, buscando la mejor interfaz en la que el usuario pueda interactuar con la computadora en la misma forma en la que se comunica con el mundo, es decir utilizando gestos. La detección de gestos de la mano es un proceso complejo de visión artificial, donde los métodos existentes aún no son suficientes ni óptimos, ya que aún presentan diversos problemas de precisión por la complejidad de la mano y de los gestos, así como también por las características propios de cada método y por los problemas propios de la visión artificial, por lo que persiste la dificultad en la detección, existiendo desafíos para su implementación, por lo que es un campo abierto a la investigación y que continúa en desarrollo debido a las necesidades actuales de interacción natural con la computadora y sus aplicaciones.*

En la presente investigación se presenta un nuevo método de reconocimiento de gestos de la mano a partir de imágenes bidimensionales obtenidas a partir de una cámara monocular sin calibración previa, el método emplea elementos como la proporción áurea, las series de Littler, de Fibonacci, detección de descriptores, así como un modelo de codificación de gestos de la mano, aportando con algunas técnicas y estrategias en diferentes etapas del método, de forma que acelere el reconocimiento del gesto de la mano.

Con el fin de probar el método se desarrolló un prototipo para probar y analizar el funcionamiento de las distintas etapas del método, así también se desarrollaron aplicaciones tridimensionales que se controlan por gestos de la mano empleando el método propuesto, todo se construyó sobre en el motor Unity3D por las ventajas que ofrece; estas aplicaciones permiten realizar experimentos con diferentes usuarios obteniendo muy buenos resultados con el método propuesto, que puede aplicarse a sistemas de realidad virtual, aumentada, mixta, videojuegos y otros como los sistemas para personas con capacidades diferentes.

Palabras clave: *Gesto de la Mano, Interacción Humano computadora, Reconocimiento de gestos de la mano, Visión Artificial.*

Abstract- *Improving the interaction interfaces between humans and computers is an activity that seeks to constantly develop, looking for the best interface in which the user can interact with the computer in the same way in which he communicates with the world. , that is, using gestures. The detection of hand gestures is a complex process of artificial vision, where the existing methods are still not sufficient or optimal, since they still present several precision problems due to the complexity of the hand and the gestures, as well as the characteristics of each method and due to the problems of artificial vision, which is why the difficulty in detection persists, and there are challenges for its implementation, which is why it is a field open to research and which continues to be developed due to the needs of natural interaction with the computer and its applications.*

In the present investigation a new method of recognition of hand gestures is presented from two-dimensional images obtained from a monocular camera without previous calibration, the method uses elements such as the golden ratio, Littler series, Fibonacci series, detection of descriptors, as well as a hand gesture coding model, contributing with some techniques and strategies in different stages of the method, so as to speed up hand gesture recognition

In order to test the method, a prototype was developed to test and analyze the operation of the different stages of the method, as well as three-dimensional applications that are controlled by hand gestures using the proposed method, everything was built on the engine. Unity3D for the advantages it offers; These applications allow experiments to be carried out with different users, obtaining very good results with the proposed method, so it can be applied to virtual, augmented, and mixed reality systems, video games, and others such as systems for people with different abilities..

Keywords: *Computer vision, gesture recognition, hand gesture, human-computer interaction.*

1 INTRODUCCIÓN

La interacción humano computador fue evolucionando desde las interfaces de línea de comandos (Andrade, 2016), las interfaces gráficas de usuario (Peralta, 2012) hasta las pantallas táctiles y multitáctiles.

Sin embargo, con el desarrollo de la ciencia y tecnología se busca nuevos métodos tienden a ser naturales basados en la comunicación que realiza el ser humano a través del habla, o de gestos corporales, faciales, de la mano, entre otros.

Por lo que se prevé un nuevo hito en la forma de interactuar con la computadora de acuerdo con Odio (2015) a través de las Interfaz Natural de Usuario o NUI Natural User Interface que de acuerdo con D. Wigdor. W. & Dennis. (2011) son interfaces que permiten interactuar con el usuario de forma natural como interactúa con otras personas.

Uno de los primeros en intentar la interacción natural con las computadoras fue Steva Mann (Steve, 2001), entre sus trabajos se encuentra el EyeTap que son unos lentes que agregan realidad aumentada a lo que ve el usuario, otro de los primeros sistemas de interfaz natural que empleó movimientos del cuerpo y voz para interactuar con un programa fue Put-that-there desarrollado por Richard Bolt desde 1980 (Richard, 1980).

Ya en la última década van surgiendo diversos dispositivos y herramientas para que el usuario emplee su propio cuerpo a través de gestos para controlar la computadora (Petersen & Stricker. 2009), lo que ha desencadenado su auge, motivado principalmente por la importancia de sus posibles aplicaciones: nuevas modalidades de interacción hombre-máquina, reconocimiento del lenguaje de signos, navegación en entornos virtuales, identificación de expresiones faciales, biometría y seguridad, seguimiento o tracking del movimiento de personas o grupos, etc. (Torres, 2010)

El reconocimiento de gestos de las manos es de alta utilidad, ya que es una de las partes del cuerpo que más se utiliza de acuerdo con Ronchetii. (2016) y que en los últimos años ha atraído un creciente interés por sus aplicaciones en diversos campos como la interacción humano-computadora, robótica, videojuegos, interpretación automática de lenguaje de señas y demás (Andrade, 2016)

La comunicación del humano con la computadora basado en los gestos de la mano se presenta como una alternativa de alta utilidad, en el que se desarrollan investigaciones para interactuar por medio de tecnologías como Wii, Kinectic, Leap Motion y otros dispositivos, así como por métodos de visión artificial, que sin

Sin embargo aún no brindan una solución definitiva a este campo.

A. El Problema del reconocimiento de gestos

Si bien el tema de la interacción con la computadora mediante gestos de la mano tiene un interés creciente, existen varios estudios que denotan el esfuerzo por llegar a soluciones en este campo, que brindan algunas soluciones y también presentan algunos problemas y dificultades entre los cuales se puede mencionar: existe poco avance en el área (Ariel, 2010), el rendimiento aún no es óptimo (Arranz, Liu & López. 2012), existen desafíos en la implementación: según García Cortés. (2014), tienen una alta complejidad (Ariel, 2010), falta de fiabilidad en la detección de los gestos (Arranz, Liu & López. 2012), es un proceso complejo (García Cortés, 2014), falta de precisión y dificultad de distinción, es un problema latente que dista mucho de estar resuelto (Torres, 2010) existe la necesidad como medio de interacción actual (Torres, 2010), está lejos de resolverse (Ronchetii, 2016), requiere más atención (Cruz, 2019) y aún falta el rendimiento en tiempo real (Zheng, 2022)

Por tanto, el proceso de reconocimiento de gestos de la mano como medio de interacción humano computador es un tema reciente, que si bien se viene estudiando aún no se han logrado resultados óptimos y donde se ha tenido poco avance y que debido a los avances en otras áreas como realidad Virtual, Realidad Aumentada y otros, cada vez se hace más necesario como interfaz natural de usuario y que debe ser estudiado por ser un problema latente.

B. Métodos de reconocimiento de gestos de la mano

La mano se compone de la palma y de cinco dedos, con la cual se puede realizar poses o gestos, que es una posición en particular de la mano, los gestos en estáticos y dinámicos

Los métodos de reconocimiento pueden ser de dos tipos: los que emplean dispositivos no basados en visión o sistemas basados en 3d y los basados en visión por Andrade. (2016) los primeros emplean tecnologías para detectar movimientos como acelerómetros, sensores etc. y se emplean en forma de artefactos como guantes, brazaletes, etc. y los segundos emplean principalmente una o varias cámaras.

1) Métodos Basados en sistemas 3D

Los métodos basados en sistemas 3D principalmente se basan en el uso de dispositivos especiales como: Kinect (Shuai, 2016), (Realpe, 2013), (Barros, 2014) y (Plouffe & Cretu. 2015), cámaras RGB-D (Nuñez, 2019),

guantes (Huitzil, Pajaro & Ramirez, 2017), Myo (Huitzil, Pajaro & Ramirez, 2017), (Motoche, 2018) y otros.

2) Métodos Basados en Imágenes

Los métodos basados en imágenes emplean imágenes obtenidas a partir de una o más cámaras, entre estos métodos se tiene: métodos que emplean redes neuronales (Sandipgiri, 2019), (Pinto, Borges, Almeida & Iális, 2019), métodos basados en Histogramas de Frecuencias (Villa, Valencia & Berrio, 2018), (Ronchetii, 2016), Métodos basados en clasificadores Haar Cascade Styles (Ruchi, Premanand, 2015), métodos basados en Máquinas de Soporte Vectorial (Ansari, 2017) y (Berru, 2019), Métodos basados en Redes Bayesianas (Thangali, Nash, Sclaroff, & Neidle, 2011), Métodos basados en Momentos Hu (Kelly, McDonald & Markham, 2009), métodos basados en SIFT (Scale Invariant Features Transform (Villa, Valencia & Berrio, 2018), métodos basados en apariencia de forma invariante afin (Roussos, Theodorakis, Pitsikalis & Maragos, 2013) y otros

C. Aplicaciones

Las diversas aplicaciones en las que puede ser útil el reconocimiento de gestos son amplias algunas de las cuales son: Ronchetii. (2016) monitoreo de pacientes, control de videojuego, navegación y manipulación de entornos virtuales, traducción de léxicos de la lengua de señas, manipulación de objetos gráficos, navegar por la web, manipular dispositivos multimedia, (Huitzil, Pajaro & Ramirez, 2017) robótica, drones, desarrollo de aplicaciones médicas como prótesis y terapias físicas (Andrade, 2016)

D. Las series de Fibonacci, Lucas y Littler

la serie de Fibonacci es una secuencia de números que se remonta al siglo XIII (Chacón, 2014), en base a un problema de reproducción de conejos y que tiene la forma de la siguiente forma, comenzando por dos números uno, se suman los dos últimos números consecutivos de la serie para formar el siguiente número de la serie y así sucesivamente

$$1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, \dots \text{etc.} \quad (1)$$

Donde el n -ésimo término de la serie de Fibonacci es:

$$f_n = f_{(n-1)} + f_{(n-2)} \quad (2)$$

Y los primeros términos de la serie de Fibonacci son:

$$f_1 = 1 \text{ y } f_2 = 1 \quad (3)$$

Las series donde se suman los dos últimos términos de la serie para formar un nuevo término de la serie

comenzando con cualesquiera dos números se denomina serie de Lucas (Hutchison & Hutchison, 2010) fueron nombradas en honor al matemático francés del siglo XIX, Eduard Lucas.

Lucas estudió una serie, relacionada con la serie de Fibonacci que comienza con los términos 2 y 1, es decir los términos de esa serie son:

$$2, 1, 3, 4, 7, 11, 18, 29, 47, \text{etc.} \quad (4)$$

Por tanto, el n -ésimo término de la serie de Lucas es:

$$L_n = L_{(n-1)} + L_{(n-2)} \quad (5)$$

Donde los primeros términos de la serie de Lucas son:

$$L_1 = 2 \text{ y } L_2 = 1 \quad (6)$$

La serie de Littler es otra serie especial, donde se suman los dos últimos términos de la serie para formar un nuevo término de la serie pero que empieza en 1 y 1.3, (Hutchison & Hutchison, 2010) lo bautizaron en honor al Dr. Littler., el cual en sus investigaciones estableció esa relación para los dígitos del índice, el medio y el anular que se corresponden con esta serie.

$$1, 1.3, 2.6, 5.9, 8.5, 14.4, 22.9, 37.3, 60.2, \text{etc.} \quad (7)$$

Por tanto, el n -ésimo término de la serie de Littler es:

$$l_n = l_{(n-1)} + l_{(n-2)} \quad (8)$$

Donde los primeros términos de la serie de Fibonacci son:

$$l_1 = 1 \text{ y } l_2 = 1.3 \quad (9)$$

Algo interesante es que cuando dos términos de las series de Fibonacci, Lucas y Littler tienden a infinito, la proporcionalidad entre dos números consecutivos se acerca a 1.6180, es decir:

O sea:

$$\frac{f_{(n+1)}}{f_n} = \frac{L_{(n+1)}}{L_n} = \frac{l_{(n+1)}}{l_n} = 1.6180 = \Phi \quad (10)$$

E. Proporción Áurea

La Proporción áurea o Phi (del griego Φ) (Arteaga, 2001), es considerado un número muy especial que estaba escrito en sitios públicos de Atenas con caracteres de oro y existe constancia de su conocimiento en civilizaciones antiguas como Babilonia y Asiria alrededor del año 2000 a.C., hasta Leonardo da Vinci

hizo un dibujo para ilustrar el libro 'La Divina Proporción' del matemático Luca Pacioli, (Tunuevainformacion, 2020), se halla presente en el libro “Elementos de Geometría” de Euclides de Alejandria el cual brinda la siguiente definición “Se dice que una recta está dividida en media razón y extrema razón cuando la longitud de la recta total es al segmento mayor, como el segmento mayor es al segmento menor” (ProporcionAurea.com, 2020)

Algunas Propiedades Matemáticas del número Áureo según (Garíjo & María, 2017) son:

$$\Phi^{-1}=1/\Phi \quad (11)$$

$$\Phi^n=\Phi^{(n-1)}+\Phi^{(n-2)} \quad (12)$$

$$\Phi=\sqrt{1+\Phi} \quad (13)$$

$$\Phi=\sqrt{1+\sqrt{1+\sqrt{1+\sqrt{1+\dots}}}} \quad (14)$$

$$\Phi=1+1/(1+1/(1+1/(1+\dots))) \quad (15)$$

Johannes Kepler descubrió que existe relación entre los números de Fibonacci y el número áureo (Chacón, 2014), ya que mientras más tienden a infinito los términos de la serie de Fibonacci, la proporcionalidad entre dos números consecutivos se acerca a $\Phi \approx 1.618$, es decir:

$$f_{(n+1)}/f_n = 1.618 = \Phi \quad (16)$$

Existen varias aplicaciones de la proporción áurea (Chacón, 2014), (Garíjo & María, 2017), (Tunuevainformacion, 2020) y (Toledo, 2004)

F. Proporción Áurea de la Mano

La proporción áurea se encuentra presente en el cuerpo humano y en la mano (Arteaga, 2001) (Wang, Ma, Jin, & Bin, 2017), de acuerdo con Arteaga (2001) “tomando la medida de menor a mayor la falange última de los dedos está en proporción áurea respecto a la siguiente, y está a la siguiente”.

Es evidente que no todas las personas tienen las dimensiones exactamente en la proporción Φ , pero el promedio general tiende hacia Φ (Phiproporcion, 2020)

Los huesos de los dedos de la mano formados por los metacarpianos y las tres falanges; cada hueso guarda la proporción áurea y cada hueso es Φ veces menor que el anterior (Díaz, 2017) y (Evon y Hamed, 2018)

según los hallazgos de Priyanka, Pratima, Nikhita & Hemant (2019), los dedos índice medio y anular, se hallan en una serie de Littler, es decir, una serie de 1, 1.3 y 2.3, también en su investigación muestran que el dedo meñique se encuentra en una secuencia de Fibonacci.

Otro dato muy significativo aportado por Park, Fernandez, Schmedders & Cohen (2003) es que afirman que “las longitudes de los huesos metacarpiano y falángico siguen la relación de Fibonacci”, en su estudio se tomaron radiografías estándares de las manos de 100 voluntarios. La longitud de la falange proximal se restó de la suma de las longitudes de las falanges media y distal y la longitud del metacarpiano se restó de la suma de las longitudes de las falanges media y proximal en todas las muestras, demostrando la proporción áurea de la mano

Basados en la proporción áurea Manimala. & Kumar (2014) llevó adelante un estudio para predecir 7 características de la mano derecha e izquierda, en la investigación eligió a 153 sujetos (78 hombres y 75 mujeres) entre las edades de 22 y 25 años sin antecedentes de lesiones en las manos y de acuerdo con los resultados que alcanzó el investigador, logró estimar las 7 características de la mano izquierda y la mano derecha con una precisión de más del 91% tanto para las muestras masculinas y femeninas

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Inicialmente se procedió a establecer ciertas limitantes en base a la complejidad del procesamiento de imágenes y la utilidad del uso de gestos de la mano, estas son: no se emplearán dispositivos especiales y se trabajará con imágenes bidimensionales obtenidas a partir de una cámara monocular simple sin calibración previa que sean claramente diferenciables y contrastables con el fondo fijo, que no tengan sombra y con una adecuada iluminación, se asume que los gestos vendrán de una mano normal derecha que no presente deformación o carencia de dedos ni hagan uso de crema, colorante, guante u otros que modifiquen o alteren su aspecto, se trabajará con cualquier tamaño de mano que estén en postura vertical de la mano derecha, con la palma hacia la cámara, con los dedos hacia arriba sin solapar y sin ninguna rotación y que se destine una zona exclusiva para la interacción de la mano

El método de reconocimiento de gestos de la mano comprende las siguientes etapas:

- Obtención de datos
- Segmentación
- Obtención de contornos y regiones
- Obtención de Proporciones y puntos de interés

G. Obtención de Datos

Se asumió que se obtendrá las imágenes de entrada a partir de señal de video, desde donde se van obteniendo la imagen del gesto en cada fotograma del que luego se obtiene su matriz de píxeles, se define una región de interés fija de toda la imagen para interactuar con el gesto,

por lo que luego se obtiene los datos de esa región de interés ROI lo que permite reducir el tiempo de procesamiento al eliminar la mayor parte de la imagen innecesaria, debido a que una mano realizaría el gesto y la otra sostendría el dispositivo, entonces la ROI se definió que debe estar ubicada en la parte superior derecha, aunque es altamente flexible y se puede trasladar a otro lugar deseado.

La primera imagen que se obtendrá en el ROI debe ser del fondo sin la mano, lo que permitirá una adecuada segmentación, si por diversos factores existe cambio de fondo p.e. debido a la iluminación otro entonces simplemente se volvería a capturar la imagen del fondo para reiniciar el proceso de captura de gestos con el nuevo fondo

Posterior a la captura de la imagen del fondo, se comienza con un proceso continuo de captura de la imagen que contiene el gesto de la mano, estas imágenes cada cierto intervalo de tiempo, esta imagen se compara con la del fondo y se comienza el proceso de segmentación

H. Segmentación de la imagen de la mano

Una vez obtenida los datos de la imagen del fondo y la imagen del gesto de la mano dentro de la región de interés, se pasa a la etapa de segmentación del objeto, consistente aislar la imagen del gesto de la mano que se desea conocer, del fondo o elementos del fondo que la rodean, para ello inicialmente se realiza un desenfoque para la mejora de la imagen mediante la eliminación del ruido mediante un proceso de desenfoque de imágenes aplicando un operador de vecindad, donde el valor de un pixel se calcula a partir de sus píxeles vecinos, en el caso de un filtro gaussiano, existe un peso que se asigna a los píxeles vecinos del píxel que se desea calcular a partir de una matriz de convolución, estos pesos se asignan en forma de una curva de campana alrededor del píxel central, de ahí su nombre de filtro gaussiano, donde tienen mayor peso los píxeles más cercanos al píxel analizado y los píxeles más alejados al píxel analizado tienen menores pesos.

Luego se convierte la imagen con el fondo y la del gesto a escala de grises aplicando la ecuación de la luminancia a cada píxel, la cual viene dada por:

$$Y=0.299*R+0.587*G+0.114*B \quad (17)$$

Posteriormente se resta la imagen con el gesto de la mano de la imagen del fondo eliminara la mayor parte de los píxeles del fondo y se procede a llevar la a una escala de solo blanco y negro, es decir una imagen binaria empleando una segmentación de tipo binario mediante un análisis basado en la intensidad de los píxeles de la imagen, de forma que aquellos píxeles en escala de grises que superen un cierto límite de intensidad se transforman a píxeles de

color blanco y los que no superen el límite se transforman a píxeles de color negro, posteriormente para eliminar el ruido en la imagen se aplica un filtro de desenfoque, un proceso de dilatación y erosión de la imagen para mejorar la calidad de la imagen segmentada obtenida

I. Obtención de contornos y regiones

A partir de esta etapa se comienza a obtener los descriptores de la imagen obteniendo primeramente el contorno de la imagen del gesto de la mano, para ello inicialmente se optó por reducir la matriz de la imagen de la imagen obtenida debido a la cantidad de píxeles presentes, por tanto al contar con la imagen binarizada en color blanco y negro, al reducir la dimensión de esa matriz, no se pierde la esencia al calcular el contorno y es útil para acelerar los cálculos, con la matriz reducida se procede con la detección de contornos, pudiendo por diversos factores existir varios contornos, por lo que se obtiene solo el contorno de mayor diámetro y área el cual se corresponderá con el contorno del gesto de la mano

Una vez que se halló con éxito el contorno de la mano, se procede a transformar las coordenadas de los puntos detectados en la matriz reducida, a su correspondiente posición dentro de la matriz e imagen original

J. Obtención de Proporciones y puntos de interés

Inicialmente se procedió a obtener el rectángulo que contiene a la mano que se está ubicado en:

Rectángulo de la mano límite derecho = pixel del límite derecho del contorno de la mano

Rectángulo de la mano límite izquierdo = pixel del límite izquierdo del contorno de la mano

Rectángulo de la mano límite superior = pixel del límite superior del contorno de la mano

Rectángulo de la mano límite inferior = pixel del límite inferior del contorno de la mano

Posteriormente se estima la región que contiene a los dedos a partir del rectángulo estimado que contiene la mano, se estima a partir del porcentaje de proporción de la palma de la mano con respecto a la mano total empleando el cálculo de proporciones Áureas de la mano, es decir, la longitud de las falanges sigue aproximadamente y en promedio las proporciones basadas en la proporción áurea, siguiendo la serie de Fibonacci para el dedo meñique y la serie de Littler para los demás dedos, entonces se tiene las siguientes proporciones siguiendo la serie de Littler: 1 proporción para la falangeta, 1,3 proporciones para la falangina, 2,3 proporciones para la falange y 3,6 proporciones para el metacarpiano, haciendo un total de 8,2 proporciones desde la punta del dedo medio hasta la base del metacarpiano de la mano.

Emplearemos para los cálculos un valor de proporción que es igual al total de la altura de la imagen de la mano extendida dividido entre 8,2, por tanto se asume que el porcentaje ocupado a lo alto por el rectángulo que contiene los dedos de las manos, ocupa en principio las proporciones que ocupa el dedo medio ya que los demás dedos están aproximadamente a la misma altura, haciendo un total de 4,6 proporciones de las 8,2 proporciones que ocupa toda la mano incluyendo el metacarpo siguiendo la proporción áurea de la mano, y aplicando una regla de tres se tiene que la altura ocupada por los dedos representa el 56,097% de la altura de la región mano

Luego se obtiene la altura región de la palma que está ubicada en la zona contigua a la región de los dedos

Posteriormente se procede a buscar puntos candidatos a la cima y meseta de los dedos de la mano, donde a partir del contorno del gesto de mano detectado, se recorre todos los puntos, verificando su orientación y cambios de dirección, de forma de hallar aquellos puntos máximos y mínimos que serían candidatos a representar la punta y mesetas de los dedos de la mano, esta búsqueda se realiza solo en la región de los dedos de la mano

El procedimiento anterior no garantiza obtener todos los puntos cima de los dedos, ya que en caso de que los dedos no estén separados, o no estén extendidos entonces se tiene una alta probabilidad de no ser detectados, por tanto paralelamente al procedimiento anterior se debe buscar puntos contiguos que se encuentren en el mismo plano lo que permite obtener varios puntos probables a corresponderse con la cima de los dedos

Luego en el conjunto de puntos candidatos la cima se debe realizar un proceso de descartar algunos de estos puntos, para ello asume la existencia de una proporción insuperable por la estructura de la mano en el grosor de los dedos, para ello se observó que la mitad de la proporción de la falangeta cubre una distancia apropiada para la búsqueda de vecinos cercanos a la cima de un dedo, entonces en base a esa proporción, analizamos a la distancia existente entre los puntos vecinos y se asume al punto central como el punto cima de ese dedo

Finalmente se realiza una comparativa entre los primeros puntos cima de los dedos y el segundo grupo de puntos candidatos para descartar duplicidades

Con el procedimiento anterior se garantiza detectar al menos los puntos de la cima de los dedos índice, medio, anular y meñique, sin embargo es probable que fruto del procedimiento anterior, falte detectar la cima del dedo pulgar, debido a que se dobla de forma diferente, para detectar esto se recurrió a crear algunas relaciones basadas en la proporciones áureas de la mano, considerando que la proporción entre el alto y el ancho de la mano es aproximadamente uno cuando la mano esta con todos los

dedos totalmente extendidos, en cambio cuando la proporción supera ese límite cuando la mano esta con el pulgar doblado, siempre y cuando no se hayan detectado los cinco cimas de los dedos fruto del procedimiento anterior, por último cuando está por debajo de ese límite es altamente probable que la mano esté con todos los dedos recogidos, es decir, la mano esta con el puño cerrado

Finalmente, mediante un cálculo trigonométrico también se procede a obtener el Ángulo formado entre dos dedos para verificar si los dedos están juntos o separados

K. Interpretación del gesto

La última etapa del método es la interpretación del gesto, para ello primeramente se construyó un modelo que represente al gesto de la mano para almacenar, recuperar y procesar rápidamente los gestos de la mano, para construir el modelo se empleó el enfoque de sistemas en base a las propiedades de la mano, cuyo modelo se puede apreciar en la siguiente figura:

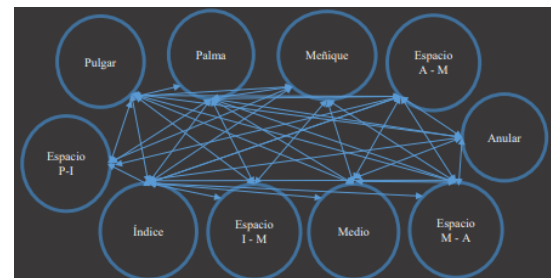


Figura 1: Modelo de gesto de la mano

Fuente: Elaboración propia

Entonces basado en el análisis y modelo anterior se asume la representación del estado del gesto de una mano siguiendo el modelo:

$$G = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, e_1, e_2, e_3, e_4\} \quad (18)$$

Donde:

G: Gesto de la mano

d_1 a d_5 : postura de cada dedo cada de meñique al pulgar

e_1 a e_5 : estado espacio entre los dedos desde meñique al pulgar

Donde a cada combinación de estados de los componentes de la mano, le corresponde un solo gesto, por tanto definimos los gestos gesto de la mano, como el espacio donde los componentes de la mano se encuentran en un estado diferente, es decir

$$\text{Gestos} = \{(G_1, \text{gesto}_1), (G_2, \text{gesto}_2), \dots, (G_n, \text{gesto}_n)\} \quad (19)$$

Donde se representa los valores de los estados de un dedo como $d=\{0,1,2\}$, donde 0 representa que el dedo está extendido, 1 representa que el dedo está doblado y 2 representa que el dedo está contraído

También se representa los valores de los estados de separación entre dos dedos como $s=\{0,1\}$, donde 0 representa que no existe separación entre dos dedos, y 1 que existe separación entre dos dedos, el estado de la palma de la mano no requiere codificación

Por tanto, en base al modelo anterior inicialmente se construye un banco con los gestos que se desea reconocer para facilitar luego el reconocimiento

Finalmente se procede a la codificación del gesto del cual se ha obtenido todos sus descriptores y se procede con la comparación con los modelos almacenados previamente.

3. RESULTADOS

Para la implementación, mejora y prueba del método de reconocimiento de gestos de la mano se desarrolló un prototipo funcional con OpenCV, C# y Unity, se decidió emplear Unity 3D por su amplio uso en sistemas virtuales, de realidad aumentada y desarrollo de videojuegos ya que tiene una comunidad de usuarios muy alta y además tiene la capacidad de exportar a diversas plataformas como Linux, Windows, IOS, Android, Web, Xbox, etc.

A nivel de hardware se trabajó con un equipo portátil HP 245 G7 Cuya cámara VGA tiene una resolución 640×480 (0.307MP)

L. Implementación de las etapas del método

Primeramente, se trabajó en una interfaz para ir verificando los resultados obtenidos en cada etapa del método que brindó resultados satisfactorios, los cuales se pueden ver en la siguiente figura

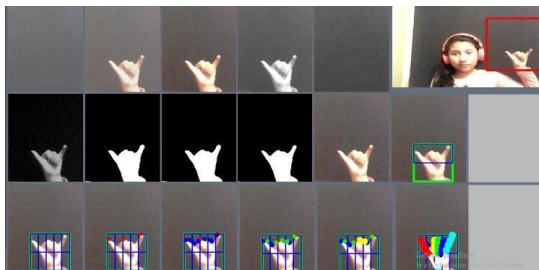


Figura 2 Resultado de las diferentes etapas del método
Fuente: elaboración propia

En la siguiente figura se puede apreciar el resultado de aplicar el resultado del proceso de reconocimiento del gesto de la mano a la imagen de entrada.



Figura 3 Reconocimiento del gesto de la mano
Fuente: elaboración propia

Experimentos

Para probar el método de reconocimiento de gestos de la mano, se llevó adelante experimentos con las siguientes características:

- Se trabajó con cinco personas de ambos géneros: dos varones y tres mujeres, para ver el funcionamiento del método con los diferentes géneros.
- Las personas tienen diferentes edades comprendidas entre los 5 hasta los 41 años (5 años, 11 años, 16 años, 38 años y 41 años), que permite verificar que el método funciona igual.
- Las personas debido a la edad y géneros tienen diferentes dimensiones y particularidades en las manos, lo que permite verificar que el método es independiente del tamaño de la mano.
- Se trabajó con diferentes tipos de fondos en las imágenes para ir variando las condiciones en las que el método va reconociendo el gesto de la mano.
- Se fue variando levemente el tema de las condiciones de la luz durante la captura de las imágenes de los gestos de la mano, para ir verificando el funcionamiento del método en diferentes condiciones.

1) Experimentos con gestos realizados por todos los usuarios

Se decidió trabajar para las pruebas con las personas con nueve gestos seleccionados que se consideraron más representativos y que los usuarios podían realizarlos sin complicación, por lo que se trabajó en el reconocimiento de los siguientes gestos seleccionados:

Nº	Gesto
1	Mano Abierta con todos los dedos totalmente extendidos
2	Mano cerrada, con todos los dedos totalmente contraídos
3	Dedo Índice levantado, los demás dedos contraídos
4	Dedos Índice y medio levantados y separados, los demás dedos contraídos y juntos
5	Dedos Índice, medio y anular levantados y separados, los demás dedos contraídos y juntos
6	Dedos Índice, medio, anular y meñique levantados y separados, dedo pulgar contraído

7	Dedo meñique levantado, los demás dedos contraídos y juntos
8	Dedos índices y meñique levantado, los demás dedos contraídos, todos los dedos sin separación
9	Dedos pulgares y meñique levantado, los demás dedos contraídos, dedos pulgar e índice separados de los otros dedos

Tabla1: Gestos seleccionados para los experimentos

Fuente: elaboración propia

A continuación, en las siguientes figuras se muestran algunas capturas de los experimentos llevados adelante con los diferentes usuarios

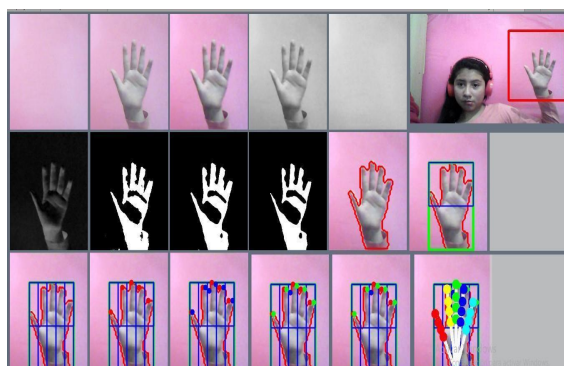


Figura 4 Reconocimiento del gesto por usuario1

Fuente: elaboración propia



Figura 5 Reconocimiento del gesto por usuario2

Fuente: elaboración propia

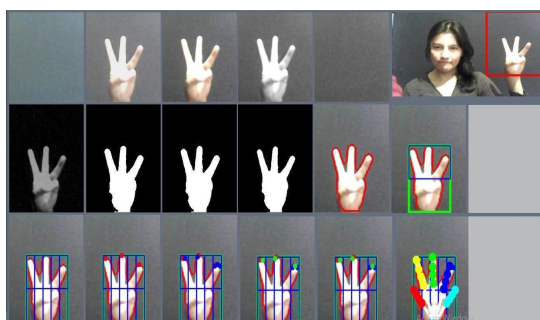


Figura 6 Reconocimiento del gesto por usuario 3

Fuente: elaboración propia

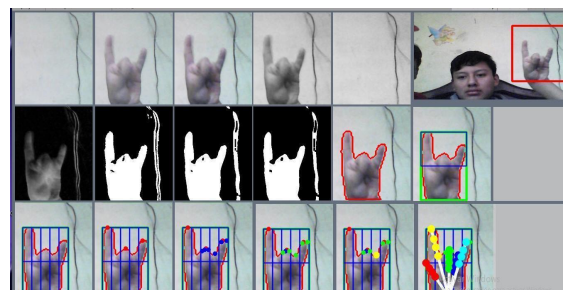


Figura 7 Reconocimiento del gesto por usuario 4

Fuente: elaboración propia

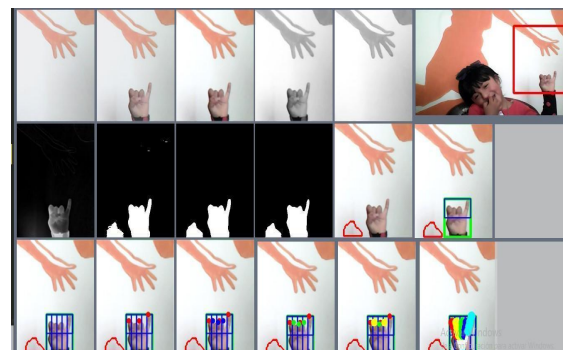


Figura 8 Reconocimiento del gesto por usuario 5

Fuente: elaboración propia

También se realizaron experimentos con diversos gestos de la mano sin embargo se puede apreciar que no todos los usuarios podían realizar los mismos gestos ya que algunos se complicaba bastante con algunos gestos o simplemente no podían hacerlo, también no todos los de reconocimiento fueron exitosos teniendo problemas referentes al procesamiento de imágenes como fallas en la segmentación, debido a la luz, el fondo, etc.

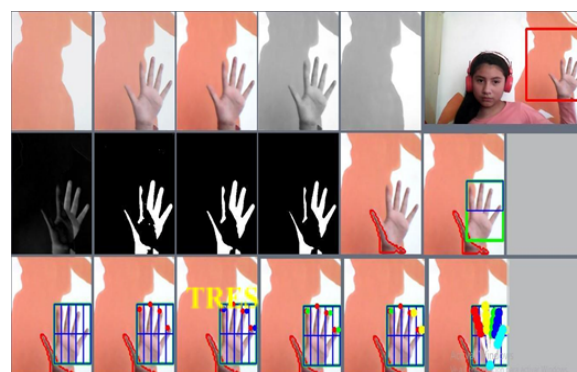


Figura 9 Casos fallidos

Fuente: elaboración propia

2) Experimentos en control de Aplicaciones

También se desarrollaron cinco aplicaciones con funciones específicas (control de traslación de un objeto 3D, control de rotación de la cámara, control de desplazamiento frontal de un avatar, control de

desplazamiento lateral de un avatar y control de diferentes acciones de un avatar) controlados por el gesto de la mano, con el fin de probar el funcionamiento del método en este tipo de entornos con algunos gestos y el desplazamiento de la mano.

Algunos resultados se pueden apreciar a continuación en las siguientes figuras:

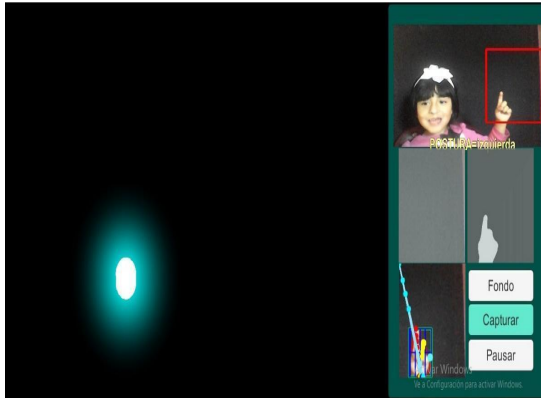


Figura 10 Control de traslación de objeto mediante gesto de la mano

Fuente: elaboración propia

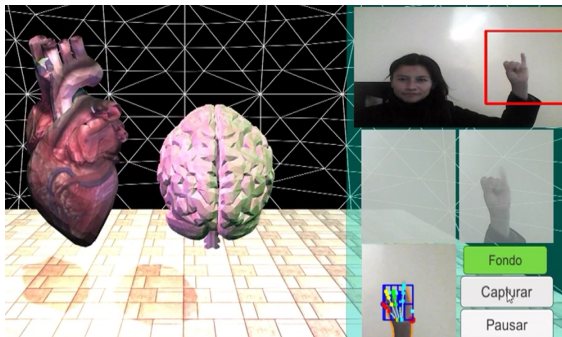


Figura 11 Control de cámara mediante gesto de la mano

Fuente: elaboración propia



Figura 12 Control de desplazamiento de avatar mediante gesto de la mano

Fuente: elaboración propia



Figura 13: Control de videojuego mediante gesto de la mano

Fuente: elaboración propia

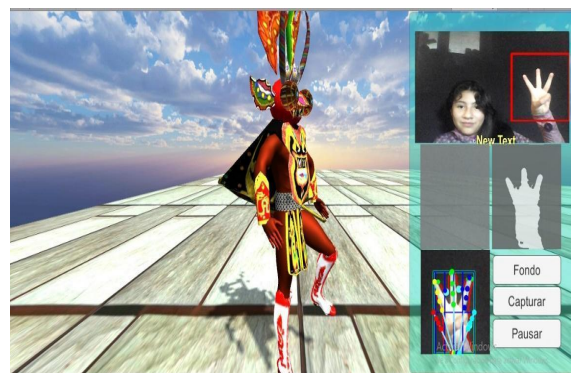


Figura 14: Control de movimiento de avatar mediante gesto de la mano

Fuente: elaboración propia

En las pruebas se obtuvieron resultados satisfactorios empleando el método propuesto para el reconocimiento de gestos de la mano

Discusiones

A partir de los resultados obtenidos se observaron algunos aspectos relevantes en los experimentos realizados, los cuales son los siguientes:

En algunos gestos ingresados, existió presencia de algunos elementos pequeños dinámicos en el fondo al margen de la mano, sin embargo, esto no afectó el desempeño del método ante el reconocimiento del gesto, demostrando el método ser bastante sólido a este tipo de presencias.

Cuando existen fondos con marcados contrastes de figuras, la mano suele tener inadecuada segmentación durante el proceso de sustracción de la imagen del fondo con la imagen del gesto de la mano, el cual es un problema persistente del procesamiento digital de imágenes, aunque el método funciona en la mayoría de los casos con esta limitante.

Cuando existen variaciones en la intensidad de la luz durante la captura del gesto de la mano y una vez que se ha capturado la imagen de fondo, se suele afectar notoriamente a la segmentación de la imagen, por lo que este aspecto se soluciona obteniendo nuevamente la imagen del fondo y el método vuelve a trabajar adecuadamente en las nuevas condiciones con las limitantes planteadas.

Cuando el gesto se ingresa directamente desde la captura de una imagen, se tiene un solo resultado que se procesa adecuadamente, pero cuando el gesto de la mano se captura desde el video de la cámara, existen pequeñas variaciones, generalmente producidas por el movimiento leve casi imperceptible de la mano que ocasiona que se produzcan diversos contornos y por tanto variando los puntos de interés, que afecta al reconocimiento del gesto, ya que el video recupera imágenes varias veces por segundo, este aspecto se soluciona en el prototipo estabilizando el gesto reconocido en un determinado tiempo que hace que su desempeño sea bueno en tiempo real.

Un dato interesante que se pudo advertir durante los experimentos es que no todos los usuarios pueden realizar los mismos gestos.

También se observó que es necesario una explicación previa y un breve periodo de acostumbramiento de los usuarios a los gestos para manipular las aplicaciones.

El control de aplicaciones con gestos de la mano es mucho más fácil y rápido para algunos usuarios que para otros usuarios.

Los usuarios sienten una alta satisfacción al controlar de forma innovadora una aplicación sin tocarla y con los gestos de la mano

A partir de los 250 experimentos realizados en una sesión aleatoria, se realizaron también otras sesiones, se contabilizó la cantidad de casos exitosos y casos fallidos de reconocimiento de gestos en promedio teniendo los siguientes resultados en porcentaje

Porcentaje gestos reconocidos= 92,85714%

Porcentaje gestos No reconocidos= 7,14286%

También se procedió paralelamente a medir los tiempos de reconocimiento del método, determinando que el método reconoce un gesto en un tiempo promedio de 11,77 milésimas de segundo.

Con estos datos se puede proceder a comparar el método propuesto con otros métodos:

Villa & Valencia & Berrio (2018) emplea el algoritmo SIFT “Scale Invariant Feature Transform” en Matlab

teniendo un 54% porcentaje de reconocimiento mínimo y un máximo con guantes de 77%

Sandipgiri(2019) emplea una red neuronal convolucional CNN para la clasificación de imágenes logrando un rendimiento de 99% promedio de reconocimiento en caracteres y 100% en dígitos

Motoche(2018) emplea el sensor Myo Armband y una red neuronal artificial feedforward de tres capas, logrando 29.38 ms en tiempo de reconocimiento y 90.7% promedio de reconocimiento.

Shuai(2016) emplea Kinect, filtro de kalman y gradientes logrando un rendimiento de 96.3 promedio de reconocimiento

Ronchetii(2016) trabaja con máquinas de Soporte Vectorial (MSV), Modelos Ocultos de Markov Machine Learning MHM y Modelos de Mixturas Gaussianas(GMM) logrando un rendimiento de 91.7% promedio de reconocimiento

Rojas (2021) entre 80 y 92% promedio de reconocimiento

Nadia(2021) emplea machine Learning mediante deep Learning con tensor flow y keras, además de un dispositivo Myo, Red Neuronal de Gated Recurrent Unit(GRU), trabaja con seis gestos de la mano logrando 82,15% promedio de reconocimiento

Berru (2019) aplica OpenCV, emplea Soporte Vectorial de Máquinas SVM y logra un 93.16% promedio de reconocimiento

Ortiz & Camargo (2020) emplean Machine Learning, logrando un 68% promedio de reconocimiento

Maqueda (2018) emplea Redes Neuronales Convolucionales (CNN) logrando un 99% promedio de reconocimiento.

Sharma, Mittal, Singh & Awatramani(2020) brindan una comparativa del rendimiento de varios métodos proporcionando los rendimientos máximos en SVM 92.87%, regresión logística 84,59%, naive bayes 77,23%, Random Forest 98,3, K-Nearest Neighbours 95.81%, multilayer perceptron 98.31%, no proporciona los tiempos de reconocimiento

Por tanto, en base a la comparación con los datos obtenidos, se aprecia que el rendimiento del método propuesto es bastante satisfactorio en tiempo y porcentaje de reconocimiento en comparación con los otros métodos, aunque es necesario hacer notar que muchos de los trabajos revisados no presentan el tiempo promedio en el que se realiza los procesos de reconocimiento o presentan contrastaciones con otros métodos.

4 CONCLUSIONES

La investigación aporta una solución innovadora aplicando la proporción áurea para la reconstrucción del gesto de la mano que emplea la proporción áurea a la mano en base a las series de Littler y Fibonacci para determinar la postura de los dedos y por tanto realizar el reconocimiento del gesto de la mano en base a los puntos límites de los dedos

El método reconoce los gestos a partir de una imagen obtenida de una cámara monocular sin calibración previa y de baja resolución sin importar el tamaño de la mano, género o edad del usuario.

El método aporta un modelo para el almacenamiento de gestos de la mano empleando el enfoque de sistemas.

El método presenta estrategias de aceleración en diferentes etapas del método como la reducción de matrices, detección reducida de puntos de contorno y otras estrategias para acelerar el reconocimiento y buscando un reconocimiento en tiempo real.

Se logró obtener un prototipo para probar el método, construido sobre un engine altamente utilizable como es unity3d, que permite obtener productos sobre diversas plataformas como Linux, Windows, Android, iOS, Xbox, etc.

Se realizaron experimentos que resultaron satisfactorios en 5 aplicaciones que se construyeron para probar el método desde videojuegos y sistemas de realidad virtual, teniendo el método propuesto un tiempo y porcentaje de reconocimiento satisfactorio.

REFERENCIAS

Andrade F. (2016) Un enfoque inteligente para el reconocimiento de gestos manuales. Buenos Aires. Universidad Nacional del Centro.

Ansari F. (2017) Hand Gesture Recognition using fusion of SIFT and HoG with SVM as a Classifier, Septiembre 2017. International Journal of Engineering Technology Science and Research. Vol. 4. Pág. 913-922

Ariel M. (2010) Seguimiento 3D de la mano

Arteaga A. (2001) Aspectos Estéticos de la Divina Proporción, Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral. ISBN: 84-669-1867-1. Madrid. España

Arranz F. Liu Q. & Lopez J. (2012) Interacción persona Computador basado en el reconocimiento visual de manos. Madrid. Universidad Complutense de Madrid.

Barros N. (2014) Algoritmos de Reconocimiento de Gestos de La Mano Basado en Tecnología Kinect. Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Quevedo-Los Rios-Ecuador

Berru B. (2019) Reconocimiento de gestos estáticos del abecedario de la lengua de señas peruana utilizando cámaras de baja resolución.

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. disponible en: <https://conadisperu.gob.pe/observatorio/wp-content/uploads/2021/08/Rconocimiento-de-gestos-estaticos-del-lenguaje-de-senas.pdf>

Chacón M. (2014) Secuencia Fibonacci y Productos. Análisis del comportamiento del consumidor frente al número áureo. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.

Cruz A. (2019) Software de Realidad Virtual para la manipulación de datos LIDAR mediante el uso de Interfaz Natural de Usuario. Tesis doctoral en Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional. Querétaro

Díaz J. (2017) Estética y Belleza, Proporción Áurea. Academia Chilena de Medicina y Cirugía Estética. [en Línea]. disponible en <http://www.academiamedicinaestetica.cl/assets/estetica-y-belleza,-proporcion-aurea-2017.pdf>

Evon A. y Hamed S. (2018) Un modelo biométrico matemático del cuerpo humano usando la proporción áurea: un nuevo algoritmo. Intechopen. [en Línea]. disponible en: <https://www.intechopen.com/books/machine-learning-and-biometrics/a-human-body-mathematical-model-biometric-using-golden-ratio-a-new-algorithm>

García Cortés D. (2014). Reconocimiento de Gestos de Manos como Mecanismo de Interacción Humano-Computador. Bogota. Universidad Nacional de Colombia.

Garijo I. & María J. (2017) Revista Vida Científica. 100cias. pág.49-58.

Huitzil I., Pajaro J., Ramirez L. (2017) Test of a Myo Armband. Universidad Politécnica de Amozoc. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. Vol.3 No.10 48-56.

Hutchison A. & Hutchison R. (2010) Fibonacci, littler, and the hand: a brief review. Hand (New York, N.Y.). 5(4), 364-368. <https://doi.org/10.1007/s11552-010-9268-6>

Kelly D., McDonald J. & Markham C. (2009) Pattern Recognition Letters. Elsevier. disponible en : www.elsevier.com/locate/patrec

Manimala S. & Kumar C. (2014) Anticipating Hand and Facial Features of Human Body using Golden Ratio. International Journal of Graphics & Image Processing (IJGIP). 4. 15.G. Eason, B. Noble

Maqueda Nieto Ana Isable (2018), From Traditional Multi-stage Learning to end-to-end Deep Learning for computer vision Applications, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, madrid, disponible en: https://oa.upm.es/66779/1/ANA_ISABEL_MAQUEDA_NIETO.pdf

Motoche C.(2018) Reconocimiento de gestos de la mano en tiempo real usando señales electromiográficas y redes neuronales artificiales. Escuela Politécnica Nacional, Quito. disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19598/1/CD-8996.pdf>

Nadia Nasri (2021), Hand Gesture Recognition Using sEMG and Deep Learning, Tesis Doctoral en Informatica, Universidad de Alicante, 2021, disponible en:

[http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/121510/1/tesis_nadia_nasri.p](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/121510/1/tesis_nadia_nasri.pdf)

dfNuñez Moreno J. (2019) Análisis de movimiento humano

mediante dispositivos RGB-D. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid.

Odio A. (2015) LaGer: Lenguaje para descripción de gestos bidimensionales y tridimensionales. Tecnológico de Costa Rica.

- Ortiz Nelson & Camargo Jorge(2020) Modelo computacional para reconocimiento de lenguaje de señas en un contexto colombiano, Instituto Tecnológico Metropolitano, vol. 23, núm. 48, pp. 197-232, disponible en <https://www.redalyc.org/journal/3442/344263272011/html> Park A., Fernandez J., Schmedders K. & Cohen M. (2003) The Fibonacci sequence: Relationship to the human hand. The Journal of hand Surgery. Vol. 28. P157-160. January 01. <https://doi.org/10.1053/jhsu.2003.50000>
- Peralta S. (2012) Interfaz de Lenguaje Natural usando Kinectic. México. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Petersen N. & Stricker D. (2009) Continuous Natural User Interface: Reducing the Gap Between Real and Digital World. IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Science and Technology Proceedings.
- Phipproporcion (2020) La Proporción Áurea-El número de oro Φ Phi 1,618. [en línea]. Disponible en [https://doi.org/10.1155/2019/4167890](https://www.proporcionaurea.com/vida/manos-y-pies-humanos/Pinto R., Borges C., Almeida A. & Iális P. (2019) Reconocimiento estático de gestos manuales basado en redes neuronales convolucionales. Revista de Ingeniería Eléctrica e Informática, vol. 2019. ID de artículo 4167890. 12 páginas. <a href=)
- Plouffe G. & Cretu A. (2015) Static and Dynamic Hand Gesture Recognition in Depth Data Using Dynamic Time Warping
- Priyanka K., Pratima G., Nikhita G. & Hemant J. (2019) A Compendium of Fibonacci Ratio. Journal of Clinical and Diagnostic. Research. Nov. Vol-13(11): AB03-AB10.
- ProporcionAurea.com (2020) La Proporción Áurea. [en Línea]. disponible en www.proporcionaurea.com
- Realpe G.(2013) Reconocimiento del Lenguaje de Señas Manuales con el Kinect. Universidad de los Andes. Bogotá Colombia.
- Richard B. (1980) Put-that-there: Voice and gesture at the graphics interface. Proceedings of the 7th annual conference on Computer Graphics and interactive techniques, 262–270.
- Rojas Vargas Douglas Joel (2021), Sistema de reconocimiento de la Lengua de señas Boliviana Red Neuronal recurrente RNN, Universidad Católica Boliviana, Junio, disponible en: https://www.apoyoeinclusion.org/wp-content/uploads/2022/03/Articulo_LSBv2-1.pdf
- Ronchetii F. (2016) Reconocimiento de gestos dinámicos y su aplicación al lenguaje de señas. tesis doctoral en Ciencias Informáticas. Universidad Nacional de la Plata. disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/59330#:~:text=La%20captura%20y%20reconocimiento%20de,se%C3%B1as%2C%20entre%20otras%20aplicaciones%20de>
- Roussos A., Theodorakis S., Pitsikalis V. & Maragos P. (2013). Dynamic Affine-Invariant Shape-Appearance Handshape Features and Classification in Sign Language Videos. Journal of Machine Learning Research 14, pag. 1627-1663
- Ruchi G. & Premanand K. (2015). Real time Finger Tracking and Contour Detection for Gesture Recognition using OpenCV. International Conference on Industrial Instrumentation and Control. 974-977.
- Sandipgiri G. (2019). Real Time Static Gesture Detection Using Machine Learning. The Faculty of Graduate Studies Laurentian University Sudbury. thesis of Master of Science in computational Sciences, Ontario. Canada, disponible en: <https://zone.biblio.laurentian.ca/bitstream/10219/3468/1/Thesis-Sandip%20Goswami.pdf>
- Sharma Ashish, Mittal Anmol, Singh Savitoy &Awatramani Vasudev (2020).Hand Gesture Recognition using Image Processing and Feature Extraction Techniques.ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.06.022> Shuai Y. (2016) Robust human computer interaction using dynamyc hand gesture recognition. thesis for Doctor of Philosophy. University of Wollongong. julio disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/81226984.pdf>
- Steve M. (2001) Intelligent image processing. New York: IEEE John Wiley and Sons.
- Thangali A., Nash J., Sclaroff S & Neidle C. (2011) Explotación de las restricciones fonológicas para la inferencia de formas de manos en video ASL. Universidad de Boston.
- Toledo Y. (2004) Sección Áurea en Arte, Arquitectura y Música. Universidad Politécnica de Madrid de Castilla. Toledo. disponible en http://matematicas.uclm.es/ita-cr/web_matematicas/trabajos/240/La_seccion_aurea_en%20arte.pdf
- Torres M. (2010) Reconocimiento gestual mediante técnicas avanzadas de visión por computador. Soportes Audiovisuales e Informáticos.
- Tunuevainformacion (2020) El Número de Oro o Divina Proporción, presente en el cuerpo humano, la naturaleza, el arte o la música [en línea]. Disponible en: <https://www.tunuevainformacion.com/etica-filosofia-de-vida/532-el-numero-aureo-o-la-divina-proporcion-presente-en-el-cuerpo-humano-la-naturaleza-el-arte-o-la-musica.html>
- Villa B. & Valencia V. & Berrio J. (2018) Diseño de un sistema de reconocimiento de gestos no móviles mediante el procesamiento digital de imágenes Digital. Prospectiva. 16. 41-48. 10.15665/rp.v16i2.1488, disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6836702>
- Wigdor D. & Dennis. (2011) Brave Nui World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture. Morgan Kaufmann Publishers.
- Wang N., Ma J., Jin D. & Bin Y. (2017) A Special Golden Curve in Human Upper Limbs' Length Proportion: A Functional Partition Which Is Different from Anatomy. BioMed Research International. vol. 2017. Article ID 4158561. 6 pages. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/4158561>
- Zheng Zepei (2022).Human Gesture Recognition in Computer Vision Research. SHS Web of Conferences 144, 03011 (2022). <https://doi.org/10.1051/shsconf/202214403011>