

Detección y análisis de movimiento usando visión artificial

Motion Detection and Analysis Using Artificial Vision

John J. Sanabria S¹., John F Archila D².

Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

john.sanabria2@correo.uis.edu.co

jfarchid@uis.edu.co

Resumen— La visión artificial y el procesamiento de imágenes se han convertido en herramientas de utilidad en el análisis y el reconocimiento de movimientos a partir de sistemas basados en conocimiento (KBS), involucrando procesos como la remoción de ruido, resaltado de características y eliminación de desenfoques, por citar algunos.

A continuación se realiza una reseña acerca de los conceptos relacionados, su interdependencia y aplicación en entornos como: la electrónica de consumo, industria, robótica, vigilancia, identificación biométrica y medicina, haciendo énfasis en esta última. Adicionalmente se analizan los avances más destacados y los retos presentes para su evolución.

Palabras clave— Análisis de movimiento, Procesamiento de imágenes, Reconocimiento de movimientos, Remoción de ruido, Resaltado de características, Sistemas basados en conocimiento.

Abstract— The artificial vision and image processing have become useful tools for the analysis and pattern recognition in motion using knowledge-based systems, involving processes such as image denoising, image enhancement and blur reduction among others.

The following is a outline of related concepts, their interdependence and application in consumer electronics, industrial activities, robotics, surveillance, biometric identification and medical and the progress in their development. Also discusses the significant growth and present challenges to evolution.

Key Word — Image Denoising, Image Processing, Knowledge-based Systems, Motion Analysis, Recognition of Movements, Image Enhancement.

I. INTRODUCCIÓN

El interés en los procesos mediante los cuales el ser humano logra desplazarse se remonta a la antigua Grecia y

los trabajos de Aristóteles, sin embargo sólo es hasta el renacimiento, cuando personajes como: Galileo Galilei, Giovanni Borelli, Issac Newton y Leonard Euler entre otros, inician el desarrollo de las bases matemáticas necesarias para su análisis [1,2], de manera posterior aparecen técnicas como la electrofisiología, análisis a partir de fotografías-video, análisis a partir de electromiografía y sus diversas combinaciones [1-10], generando a su vez aportes importantes para el análisis de movimiento, con impacto en áreas muy disímiles[1,5,7,10,11].

Convirtiéndose en un área de investigación de gran dinamismo [8,10-18], debido a sus potenciales aplicaciones en campos tales como la vigilancia, interacción hombre-máquina y valoración medica (o deportiva) [7-10, 11, 14, 18], basándose en las técnicas descritas con anterioridad y sus combinaciones [2, 3,5, 19- 22], entre las cuales se agrupan en tres categorías ilustradas en la figura 1



Figura 1 Técnicas para captura de movimiento

El número de aplicaciones potenciales, el costo y características del hardware y la gran cantidad de información embebida en la información grafica³, han intensificado el interés de la comunidad científica en la visión artificial [8, 10,11, 14], estando esta técnica. y las problemáticas derivadas [10, 11, 14, 23-28], implícitas en diversas actividades [11, 13, 14, 16, 23,

¹ Ingeniero Electrónico, M. Sc (C.).

² Ingeniero Mecánico, M. Sc

³ El adagio popular reza “el significado de una imagen se puede expresar con diez mil palabras”, en el ser humano, la información grafica corresponde al 80% de la información manipulada por el cerebro [moeslund, poppe].

25- 32].

Este artículo está organizado de la siguiente manera, en la sección II se realiza una descripción de los conceptos generales y sus relaciones, en la sección III se presentan las interrelaciones y en la sección IV se describe las líneas de trabajo consideradas como parte del estado del arte.

II. CONCEPTOS GENERALES

A. Visión Humana

El ser humano percibe las imágenes a través de la retina, la cual se comporta como una cámara fotográfica sensible a la luz, mediante la cual, es posible obtener información visual proveniente del entorno [11, 14, 23, 25, 33, 34], mediante un sistema de visión estereoscópico.

Dentro del ojo se encuentran minúsculos receptores denominados bastones⁴ y conos⁵ agrupados en estructuras, existiendo dentro de estas estructuras, secciones sensibles a cada uno de los tres colores básicos del RGB⁶. Una vez los receptores realizan su labor, la información recibida es enviada al cerebro por medio del nervio óptico, para ser procesada por el cerebro [33,34].

Ya dentro del cerebro la información es analizada por millones de neuronas, altamente especializadas, distribuidas en capas. Teniendo por función la primera capa detectar los límites “bordes” en las imágenes, siendo estos la manifestación de cambios importantes en la intensidad o iluminación de la imagen, mientras las otras capas detectan contornos y demás comportamientos presentes en la imagen como es el caso de profundidad y movimiento [34].

B. Visión artificial

Con el surgimiento de las computadoras en la década de los cincuenta, se genera al interior de la comunidad científica el interrogante relacionado con la posibilidad de enseñar a las computadoras a realizar tareas comúnmente asociadas con la inteligencia humana, entre las cuales se encuentra la capacidad de resolver problemas, comprender lenguajes o analizar información visual [11, 14, 24, 29, 34-37]

Dando origen con ello a una disciplina orientada a emular la inteligencia humana, denominada “inteligencia artificial” y una miríada de aplicaciones y campos de investigación científica⁷, en los primeros años de su evolución se lograron avances importantes, sin embargo a través de diversos trabajos se ha hecho evidente que tareas de fácil

realización por parte de un humano conllevan una dificultad importante para las computadoras [11,31, 37-41].

La visión artificial se realiza de manera semejante al proceso asociado con la visión humana [11, 14, 36], siendo su insumo básico de entrada una imagen obtenida mediante una cámara. Siendo la imagen un arreglo o matriz de puntos⁸ [24, 42, 43, 44], correspondientes estos al valor de una función bidimensional $f(x, y)$ donde x y y son coordenadas espaciales y el valor de f , representa la intensidad o brillo de la imagen, en el caso de imágenes blanco y negro y para imágenes a color, corresponde a la combinación de tres arreglos en el modelo de color aditivo denominado RGB [43, 44].

La parte correspondiente al análisis de la imagen, tiene como algunas de sus tareas: la estimación de diferencias entre píxeles adyacentes a fin de determinar la presencia de características [12, 13, 21, 23- 25, 42, 45], la clasificación y la determinación de comportamientos específicos [11, 13, 25, 33, 46], siendo común el desestimar la información de color presente en los mecanismos de adquisición, a fin de reducir la carga computacional a emplear durante las etapas subsiguientes[11,14,15].

Sin embargo, antes de extraer cualquier información proveniente de una imagen se deben considerar los defectos provenientes de las diversas fuentes entre los cuales es posible encontrar [12,23, 33, 43-45]:

- Defectos en el sistema de adquisición lo cual originará imágenes defectuosas.
- La pérdida de datos durante la captura de la misma.
- La corrupción de información en los medios de distribución.
- Las distorsiones de escala en las imágenes, las fallas o variaciones en la iluminación empleada.

Siendo necesario el acondicionamiento⁹ de la(s) imagen(es).

Posteriormente al acondicionamiento se definen los criterios a resaltar, involucrando técnicas de mejoramiento como [43, 44]:

- Redistribución de la información estadística de la imagen.
- La manipulación de las características del espacio de color (Intensidad, Saturación y Pureza),
- Filtrado.

Previamente a la clasificación de la información se sugiere realizar la transformación de la imagen a un dominio óptimo para el trabajo a desarrollar [12,23, 43, 44]. Considerando como

⁴ Sensibles a la intensidad lumínica.

⁵ Sensibles al color.

⁶ Modelo de color de tipo aditivo denominado por las iniciales en inglés de los colores rojo, verde y azul.

⁷La visión artificial es uno de los subcampos de mayor dinamismo

⁸Denominados píxeles, siendo estos la mínima unidad de información contenida en la imagen.

⁹ Término aceptado en Hispanoamérica para el proceso de preparar la información para su análisis eliminando información fútil, en lugar de pre-procesamiento, siendo este último la traducción literal del término usado en países angloparlantes.

premisa la eliminación de información redundante, sin que ello implique pérdidas de información de utilidad, siendo de común utilización el análisis de componentes principales (PCA)¹⁰ y sus variantes [43, 44, 47].

Basándose la lógica del proceso en la toma de n muestras, representadas mediante m variables, cumpliendo (1) y (2).

$$m < n \quad (1)$$

$$l \leq \min\{n, m\} \quad (2)$$

Buscando reducir la cantidad de información a procesar, del resultado de la reducción se obtienen los l componentes principales.

A partir de los l componentes se realiza la combinación lineal de las variables originales representada por (3), siendo ellas independientes entre sí [43].

$$X = \sum_{a=1}^l t_a P_a^T + E \quad (3)$$

Donde t_a corresponde a los pesos; información acerca de la relación entre las muestras, P_a informa la relación entre las variables y la matriz E corresponde al error ocasionado [43]. La descomposición se realiza mediante los vectores propios presentes en la matriz de covarianza calculados según (4) ó (5)

$$\text{cov}(X) = \frac{X^T X}{n-1} \quad (4)$$

$$\text{cov}(X) P_a = \gamma_a P_a \sum_{a=1}^m \gamma_a = 1 \quad (5)$$

Siendo γ_a el valor asociado al valor propio P_a

Obteniéndose una nueva representación de la información, expresada mediante (6)

$$t_a = X P_a \quad (6)$$

En esta nueva representación cerca del noventa (90%) por ciento de la información presente en la imagen está contenida en los tres (3) primeros componentes principales. Adicional al análisis con PCA se integran sistemas basados en conocimiento (KBS) para realizar la segmentación, clasificación y análisis de la información contenida en la imagen [23, 31, 37, 40-42,47, 48] a partir de características.

1. Aplicación de la visión artificial

Los avances asociados al concepto de visión artificial, la han convertido en una herramienta usual en diversos

campos como medio para la captura de información y su posterior análisis [10, 24, 26, 49,50].

Entre sus campos de aplicación es posible señalar:

- Medicina: La mejora de imágenes para interpretación de estas por parte de personal médico, detección automática de patologías, conteo de elementos en imágenes microscópicas y la reconstrucción tridimensional son algunas de las más usuales [35, 26, 27, 51, 49, 52, 16,17, 9, 18].



Figura 2 captura de movimiento Fuente [35]

- Vigilancia/Seguridad: El uso de cámaras de vigilancia en sitios públicos tendiente a incrementar la sensación de seguridad, siendo un campo en continua innovación, estando la investigación orientada a detectar personas, identificar actividades sospechosas y monitorear el acceso a espacios de acceso restringido [18,24,32, 36,37,53].

- Industria: Es uno de los campos con mayor cantidad de aplicaciones, generalmente orientados al control de calidad [25,34,54-57].

•

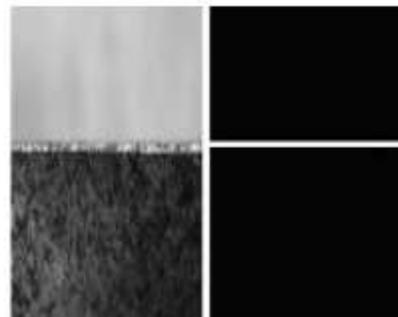


Figura 3 Clasificación automática de textiles-Perfil del material Fuente [25].

- Robótica: La visión es un elemento esencial para permitir la realización óptima de tareas, permitiéndole al dispositivo sortear obstáculos de manera exitosa, localizar objetos, identificar y

¹⁰Técnica estadística utilizada para reducir las dimensiones de la información

reconocer formas (y/o personas) permitiéndole interactuar con ellas [58-60].

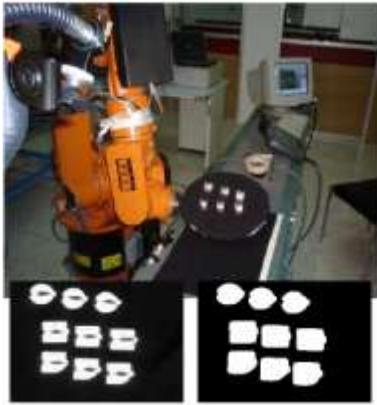


Figura 4 Ensamblaje automático
Fuente [59].

- **Interacción humano-computadora:** La comunicación con nuestros congéneres se realiza de diversas maneras, siendo la visión pieza fundamental, por ello se han implementado sistemas capaces de reconocer diversos gestos e incluso reconocer el lenguaje de señas usado por los sordomudos, seguir el movimiento de las pupilas para determinación de niveles de atención o como mouse visual [13,34, 61].
- **Identificación biométrica:** En la actualidad se encuentran sistemas capaces de identificar personas de acuerdo a diversas características biométricas como son, las huellas digitales, patrón del iris, voz, patrón de marcha y características faciales [18,24, 34, 42, 62, 63].

•



Figura 5 Sistema biométrico
Fuente [24]

C. Sistemas basados en conocimiento (KBS)

Un sistema basado en conocimiento (KBS) es una herramienta software (o agente inteligente) con una cantidad significativa de conocimiento presente en una forma declarativa explícita. Las actuales KBS han alcanzado niveles de madurez importantes estando presentes en diversos entornos [1, 9, 12, 30], sin embargo su diseño implica problemas muy específicos, el principal inconveniente corresponde a la adquisición y representación del conocimiento, denominado frecuentemente ingeniería del conocimiento [34].

El agente reacciona de acuerdo a la información que perciba del exterior, estando compuesto internamente por el programa agente (función que implementa la transformación de secuencias percibidas en acciones) y una arquitectura (mecanismo con el cual acepta la información del exterior y genera las acciones, generalmente se asocia a un computador)

Referente a los agentes se clasifican como

- **Agente reflejo simple:** almacena asociaciones entradas/salida en forma de reglas condición-acción.
- **Agente reflejo con estado interno:** mantiene información necesaria para distinguir entre estados diferentes del entorno.
- **Agente basado en objetivos:** utiliza una descripción de las metas a alcanzar a partir de la cual se escoge la acción a realizar.
- **Agente basado en la utilidad:** utiliza un criterio para estimar el grado de cumplimiento de un estado, como base para determinar la acción a realizar.
-

Como características asociados a los agentes se encuentran:

Continuidad temporal: es de ejecución continua.

Autónomo: lo es si es capaz de actuar basándose en su experiencia o conocimiento.

Sociabilidad: le permite comunicarse con otros agentes.

Racionalidad: siempre realiza “lo correcto” a partir de los datos obtenidos del entorno.

Reactividad: actúa como resultado de cambios en su entorno.

Pro-actividad: controla sus propios objetivos a partir de ocurrir cambios en el entorno.

Adaptividad: su aprendizaje es constante y su comportamiento puede cambiar de acuerdo a ese aprendizaje.

Veracidad: se asume que el agente no entrega información falsa.

Benevolencia: se asume un trabajo de colaboración, en caso de no entrar en conflicto con sus objetivos.

Las Redes neuronales Artificiales (RNA), los sistemas expertos y los sistemas de raciocinio basados en casos se consideran casos particulares de los KBS[34].

A pesar de ser una nueva perspectiva cabe indicar que, no siempre es posible asimilar todo como un agente y que cualquier conocimiento previo carece de validez. Sus opciones de utilización son múltiples, pero no es conveniente creer que

cualquier problema es manejable de forma eficiente con una aproximación de sistema basado en agentes, siendo ello función de la naturaleza del problema a resolver[1,9,12,30].

En el presente artículo, se revisa la relación y dependencia con los sistemas de visión artificial

III. DETECCIÓN ACTIVA DE MOVIMIENTO MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

El estudio y análisis del movimiento humano se realiza a partir de conocimientos inmersos dentro de la biomecánica¹¹ con los cuales se pretende determinar patrones asociados al movimiento a fin de solucionar las problemáticas ocasionadas por el entorno en el cual se desarrolla este [11, 18, 33, 49, 52, 64-67,72] u alguna patología [1, 4, 5, 9, 15-17,68-70,], mejorar o corregir movimientos propios de disciplinas deportivas [1,5, 19].

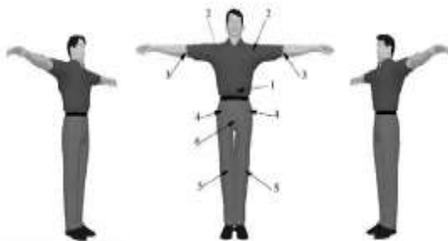


Figura 6 Captura del movimiento
Fuente [66]

Como herramienta para obtener información acerca de los fenómenos ocurridos durante el movimiento se emplean modelos biomecánicos [8, 16, 18,21,34, 50,52, 64, 65, 67,71], a partir de los cuales se pretende obtener de manera cualitativa consideraciones acerca del comportamiento ante la fatiga y esfuerzo del sistema en análisis, contrastados con patrones definidos como “normales” obtenidos con técnicas como la fotogrametría [4, 5,7,11, 26, 27, 33, 35, 38, 39,42, 51, 62, 63 , 68, 69,], el seguimiento del movimiento con (o sin) sensores [64,72, 5, 19, 20], los modelos electromecánicos y la simulación virtual [16,23], analizados mediante KBS [9, 11, 14, 15, 31, 37, 75] convirtiéndose en mecanismos de apoyo al servicio del experto humano.

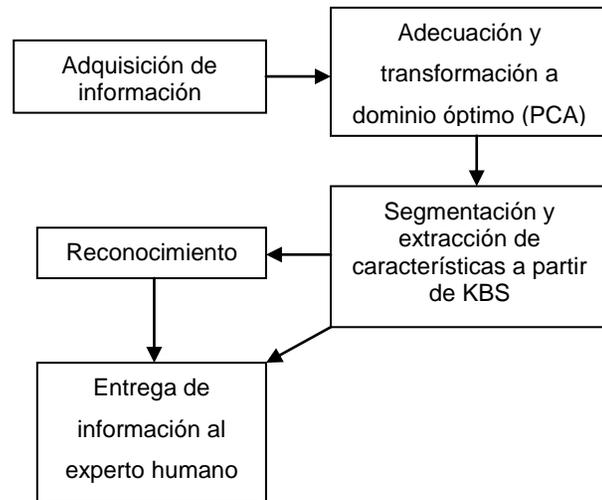


Figura 7 Elementos de un sistema de detección de movimiento
Fuente adaptación de [43]

Durante la adquisición de información del movimiento, se presenta como tendencia¹² la utilización de sistemas en los cuales no hay contacto directo con el paciente/deportista/peatón a fin de evitar la incomodidad del mismo [5,8,11, 14, 17, 27, 29, 31, 32,35, 38,39, 41,50,64] basándose el análisis en registros visuales con las ventajas asociadas a los mismos[5,11,14], sin embargo la obtención de los registros visuales conlleva dificultades propias del proceso de adquisición y la naturaleza del movimiento descritas en el siguiente apartado.

3.1 Aplicaciones

Dentro de la detección activa de movimiento a partir de información visual resaltan los trabajos orientados a la seguridad y la detección de movimiento en ambientes médicos y deportivos. Siendo presentadas a continuación algunos de los trabajos más recientes.



¹¹disciplina interdisciplinaria mediante la cual se pretende analizar las estructuras, componentes y mecanismos implícitos en los seres vivos, con especial énfasis en el ser humano

¹² Tanto a nivel nacional como internacional

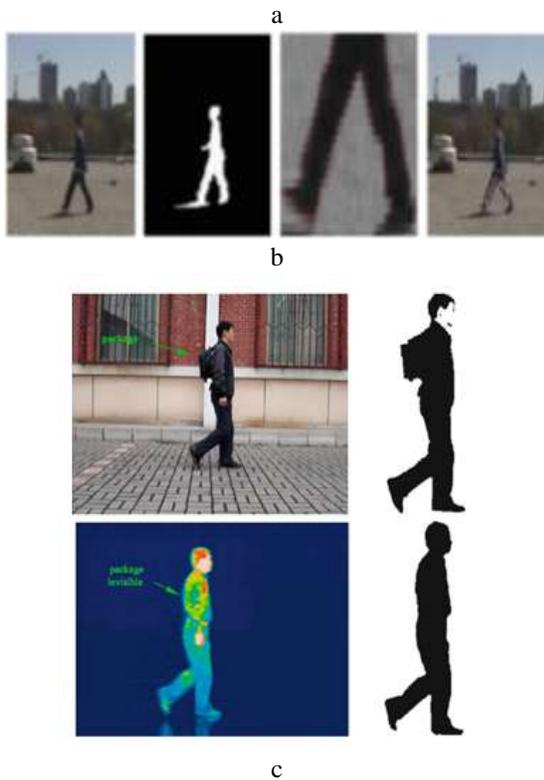


Figura 8 Ejemplos de detección de movimiento y remoción automática del fondo

Fuente a [74] b [63] c [39]

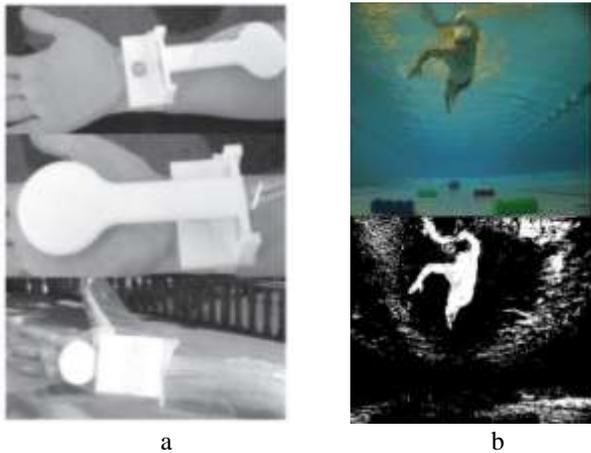


Figura 9 Ejemplos de detección de movimiento en actividades deportivas

Fuente a [19], b [77]

Referente a las aplicaciones biomédicas, es posible encontrar trabajos diseñados como herramientas para el apoyo al experto humano en la detección temprana de enfermedades con afectación del sistema nervioso central [5,35,67,68], el registro y análisis del avance durante tratamiento y acompañamiento post operatorios [5,7,16,26,49] y el control y aseguramiento de condiciones laborales optimas [13,36,41], entre otras. Siendo un campo

de gran dinamismo por las implicaciones y las posibles líneas de trabajo, discutidas en el aparte siguiente.

IV. LÍNEAS DE TRABAJO

Para el análisis y detección de movimiento se cuenta con diversas metodologías, siendo cada una de ellas seleccionada de acuerdo a las particularidades del movimiento y el ambiente en el cual se desarrolla [4-6, 10, 11, 14, 15, 18, 50, 67, 73].

En los párrafos previos se presentan de manera somera algunos de ellos, realizando énfasis en las técnicas asociadas con la captura de información visual, sin embargo todas las técnicas existentes pueden utilizarse siguiendo una de dos posibles líneas de investigación [11, 14,15]:

- Trabajo basado en un modelo planteado a partir del conocimiento del fenómeno (basado en modelo).
- La inferencia a partir de la información obtenida de los datos y la construcción del modelo per se, esta última metodología se denomina como análisis libre

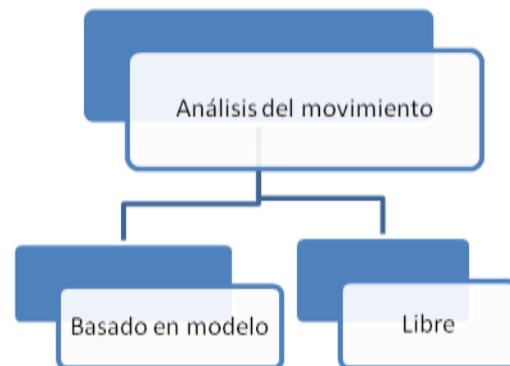


Figura 10 Metodologías para análisis del movimiento.

Considerando las aplicaciones en la ingeniería biomédica basadas en la adquisición y análisis de movimiento a partir de información visual sus principales líneas de trabajo se encuentran definidas por:

- La visión estereoscópica [9,11, 14].
- Captura de información de profundidad a partir de relaciones geométricas [47].
- Detección de cambios de luminosidad y las distorsiones debidos a la forma y orientación del objeto [7,11, 33, 62, 73].

Adicionalmente, como apoyo a las anteriores líneas se encuentran el relacionado de nuevas técnicas de adecuación de la información [38, 48, 53, 74], reconocimiento [13, 17, 28, 35,39, 42, 47, 53,77] y clasificación automática de formas y patrones a partir de variables de tipo estadístico y estados[9, 75,39, 40, 41 , 76, 32, 37, 31, 30, 74, 50], a fin de superar las

dificultades generadas por las condiciones cambiantes durante la adquisición de la imagen.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los últimos años se han desarrollado gran cantidad de investigaciones, conferencias y seminarios en el área de la visión artificial [11,14], siendo notable la tendencia hacia los trabajos en áreas como la interpretación automática, y el reconocimiento del movimiento. Enfatizando en ciertos aspectos claves:

- Acondicionamiento. Remoción de situaciones problema dentro de la imagen a analizar [11, 12, 14, 31, 36, 43-45, 48, 54, 55, 74, 76].
- Seguimiento del movimiento. Las aplicaciones inherentes a la seguridad han motivado el estudio de técnicas para realizar el seguimiento en ambientes no controlados [5, 10, 17, 23, 32, 39-42, 76].
- Reconstrucción del movimiento a partir de múltiples vistas [3, 5, 7, 10, 13, 27, 33, 56, 75].
- Reconstrucción del movimiento a partir de imágenes monoculares [4, 8, 10, 17, 21, 26, 72, 76,77].
- Reconocimiento [1-3, 5, 10, 14, 17,24, 37-42, 47, 77].

Los desarrollos e investigaciones orientados al análisis del movimiento humano a través de la visión artificial deben resolver una cantidad importante de problemas a fin de convertirse en herramientas de utilidad para las diversas aplicaciones, logrando el impacto deseado.

El trabajo orientado a detectar partes del cuerpo debe tener un comportamiento invariante al punto de vista, forma del cuerpo y las condiciones del medio en el cual se desarrolla el movimiento, tienen múltiples aplicaciones en la ingeniería biomédica, siendo esto motor de los continuos desarrollos en el área de captura y análisis de información mediante visión artificial.

REFERENCIAS

[1] R. Baker, "The history of gait analysis before the advent of modern computers," *Gait & posture* 26, pp. 331-342, 2007.

[2] D. H Sutherland, "The evolution of clinical gait analysis, part I kinesiological EMG," *Gait & Posture* 14, 61-70, 2001.

[3] D. H Sutherland, "The evolution of clinical gait analysis part II kinematics," *Gait & Posture* 16, 159-179, 2002.

[4] R Baecker et al, "Towards a laboratory instrument for motion analysis," *ACM Computer graphics*, vol 15 nro 3, pp 191-197,1981.

[5] A Villa et al., "Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría," *Revista ingeniería*

biomédica, Vol 2 nro 3 pp 16-26, Universidad CES, 2008.

[6] A Torres et al. "El aporte de la biomecánica y la ingeniería en rehabilitación en la ingeniería biomédica" EIA CES. *Revista Ingeniería Biomédica* no 2 pág. 10-13, noviembre 2007.

[7] C Van Andel et al. "Recording scapular motion using an acromion marker cluster," *Gait & Posture* 29, pp 123-128, 2009.

[8] Ganapathi Varun et al. Real time motion capture using a single time of flight camera in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2010*, Pp. 1-8 [Online]. Disponible: <http://ai.stanford.edu/~koller/Papers/Ganapathi+al:CVPR10.pdf>.

[9] M Abi H et el, "an automated method for analysis of gait data to aid clinical interpretation," presented at *Biomedical Engineering (MECBME), 2011 1st Middle East Conference* pp 119-121.

[10] P Fihl and T Moeslund, *Recognizing human gait types. Robot Vision*, pp 183-208,2010.

[11] T Moeslund et al, "A survey of advances in vision based human motion capture and analysis," *Computer Vision and Image Understanding* 104, pp 90-126, 2006.

[12] A Bouhamidi, "An iterative method for bayesian gauss-markov image restoration," *Applied Mathematical Modelling* 33, pp 361-372, 2009.

[13] F Rebelo, C Ferreira, K Da Silva, "Síntese de padroes motores de membro superior optimizados para aplicações em design ergonómico" presentada en *VI Congreso Nacional de mecánica aplicada e Computacional 2009* [Online] Disponible <http://home.fmh.utl.pt/~cferreira/pdf/aveiro2000.pdf>.

[14] R Poppe,"A survey on vision based human action recognition," *Image and vision computing* 28, pp 976-990, 2010.

[15] T Loose et al, "A computer based method to assess gait data," pp 1-2 in: *IFMBE Proc. 2nd European Medical and Biological Engineering Conference, EMBEC, 2002* [online] Available: http://www.iai.fzk.de/www-extern/fileadmin/Image_Archive/Hochdurchsatz/biosignal/publikationen/Loose02_Embec.pdf

[16] J Yang et al,"Determining the three dimensional relation between the skeletal elements of the human shoulder complex," *Journal of Biomechanics* 42, pp 1762-1767, 2009.

[17] S Sheldon, "Quantification of human motion: gait analysis -benefits and limitations to its application to clinical problems," *Journal of Biomechanics* 37 pp 1869-1880, 2004.

[18] J Nash et al. "Extraction of moving articulated objects by evidence gathering," *Proceedings of the Ninth British Machine Vision Conference BMVC98*, pp. 609-618, 1998

[19] M De ossa J, C Granados, "Diseño y construcción de un medidor de la fuerza durante la brazada de natación en estilo libre," *Revista de ingeniería biomédica* Vol. 3 no 6 pág. 56-63, 2009.

[20] E Hassam et al, "Direct Comparison of kinematic data collected using an electromagnetic tracking system Vs a

- digital optical system,” *Journal of Biomechanics* 70 pp 930-935, 2007.
- [21] T Hu et al, ”Human gait modelling: dealing with holonomic constraints,” in The 2004 American Control Conference, pp 2296-2301, vol.3,2004.
- [22] N Scafetta et al, “Understanding the complexity of human gait dynamics,” *Chaos: An interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, vol 19, no 2, pp- 02108-10, 2009.
- [23] C Stauffer, W Grimson, ”Adaptive background mixture models for real time tracking,” The artificial Intelligence Laboratory MIT, in IEEE Conference on *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* 1998, [online] Available: http://www.ai.mit.edu/projects/vsam/Publications/stauffer_cvpr98_track.pdf.
- [24] M Abril et al, “Sistema de visión artificial para el registro de densidad peatonal en tiempo real,” *Scientia et technica*, agosto año/vol XIII, nro 035 Universidad tecnológica de Pereira pp 79-83, 2007.
- [25] M Carfagni et al, “Real time machine vision system for monitoring the textile raising process,” *Computers in Industry* 56 pp 831-842, 2005.
- [26] L Forero et al, “Análisis Fílmico del ciclo de marcha mediante procesamiento digital de imágenes” Tesis Pregrado, Ingenierías Eléctrica, Electrónica Y Telecomunicaciones. UIS, 2001.
- [27] JJ Garrido JJ et al, “Design and evaluation of a new three dimensional motion capture system based on video,” *Gait & Posture* 24 pp 126-129, 2006.
- [28] A Granado J Marin, ”Detección de flujo vehicular basado en visión artificial,” *Scientia et technica*, agosto, año/vol. XIII, numero 035 pp. 163-168, 2007.
- [29] M Storrington et al, ”Tracking regions of human skin through illumination changes,” *Pattern recognitions letters* 24 pp 1715-1723, 2003.
- [30] C Shen et al, ”Moving object tracking under varying illuminations conditions,” *Pattern recognition letters* 27 pp 1632-1643, 2006.
- [31] J Ranz et al, “Algoritmos genéticos aplicados a la segmentación de imágenes con iluminación no controlada,” presentado en las jornadas de Automática, Tarragona, Universidad Complutense de Madrid 1-6, 2008.
- [32] T lam et al, ”Gait flow image: a silhouette based gait representation for human identification,” *Pattern recognition* 44 pp 973-987, 2011.
- [33] J Pantrigo, ”Análisis biomecánico del movimiento humano mediante técnicas de visión artificial, En "Aplicaciones de la Visión Artificial y la Biometría Informática". Ed. Dykinson, pp 51-64, 2004.
- [34] L Sucar Succar, “Visión: Natural y Artificial,” *Revista Komputer Sapiens*, Año 1, No 1 Octubre de 2008.
- [35] CW Cho et al, ”A vision-based analysis system for gait recognition in patients with Parkinson’s disease,” *Expert Systems with applications* 36 pp 7033-7039, 2009.
- [36] J Tavares, ”Processamento e Analise de Imagem em Biomecanica,” presentada en III Congreso Nacional Da Associacao Portuguesa de podología, 2008.
- [37] N Oliver et al, “A bayesian computer vision system for modeling human interactions,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* Vol 22 n 8 pp 1-13, 2000.
- [38] R Zhang et al, ”Human gait recognition at sagittal plane,” *Image and vision computing* 25 pp 321-330, 2007.
- [39] Z Xue et al, “Infrared gait recognition based on wavelet transform and support vector machines,” *Pattern recognition* 43 pp 2904-2910, 2010.
- [40] MH Cheng et al, “Gait analysis for human identification through manifold learning and HMM,” *Pattern recognition* 44 pp 2541-2553, 2008.
- [41] M Dimitrijevic et al, “Human body pose detection using bayesian spatio-temporal templates,” *Computer vision and image understanding* 104 pp 127-139, 2006.
- [42] Y Lu, N Li, “Automatic object extraction and reconstruction in active video,” *Pattern Recognition* 41 pp 1159-1172, 2008.
- [43] R Gonzalez et al., *Digital Image Processing using Matlab*, - Prentice Hall, 2004, pp. 954.
- [44] G Pajares et al, *Imágenes Digitales. Procesamiento Práctico Con Java*, México,: Alfaomega : Ra-Ma, 2003, pp 216.
- [45] J Oliveira et al, “Adaptive total variation image deblurring. A majorization -minimization approach,” *Signal Processing* 89, pp 1683-1693, 2009.
- [46] A Camara, “Segmentação de Movimento Usando Morfologia Matemática”. In: XX Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 2007, Belo Horizonte, Brasil. Workshop de Teses e Dissertações do Sibgrapi 2007, 2007
- [47] C Liu, ”Human action recognition using boosted eigenactions,” *Image and vision computing* 28 pp 825-835, 2010.
- [48] A Nayak S chaudhuri, “Automatic illumination correction for scene enhancement and object tracking,” *Image and vision computing* 24, pp 949-959, 2006.
- [49] M Bey et al, “Measuring dynamic in-vivo glenohumeral joint kinematics: technique and preliminary results,” *Journal of Biomechanics* 41 pp. 711-714. 2008.
- [50] Mamania vishal et al, “Markless motion capture from monocular videos,” In *Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing (ICVGIP 2004)*, pp 1-7, 2004.
- [51] P Rodacki, L A Frata, “Sistema Óptico de captura do movimento humano 2d sem utilização de marcações especiais,” in . *III Congresso Brasileiro de Computação CBComp* 2003, [Online]. Available: http://www.ic.uff.br/~laffernandes/projects/mocap/2003_CBCOMP/gomes_fernandes_CBCOMP_2003.pdf
- [52] H Bouwsema et al, “Movement characteristics of upper extremity prostheses during basic goal-directed tasks,” *Clinical Biomechanics* 25, pp. 523-529, 2010.

- [53] M Ahmad SW Lee, "Variable silhouette energy image representations of recognizing human actions," *Image and vision computing* 28, pp 814-824,2010.
- [54] J Kaartinen et al, "Machine vision based control for zinc flotation a case study," *Control Engineering practice* 146, pp 1455-1466, 2006.
- [55] D Ambrosini et al, "White light speckle photography technique applied for free convection heat transfer problem," *Flow measurement and instrumentation* 21 pp. 98-104,2010.
- [56] CM Cheng et al, "Image based 3d model reconstruction for chinese treasure. Jadeite cabbage with insects," *Computers & graphics* 32, pp. 682-694,2008.
- [57] AM Ferrero et al, "Analysis of the failure mechanism of a Peak rock through photogrammetrical measurements by 2d to 3d visions," *Engineering fracture mechanisms* 75 pp 652-66,2008.
- [58] A Atyabi et al, "Navigation a robotic swarm in an uncharted 2d landscape," *Applied soft computing* 10 pp. 149-169, 2010.
- [59] M Cabrera et al Automatización del proceso de ensamble utilizando visión artificial In séptimo Congreso internacional de Cómputo en optimización y software, (2009) [Online] Available <http://campusv.uaem.mx/cicos/imagenes/memorias/7m ocicos2009/7moCongreso.html>.
- [60] A Chella, I Macaluso, "The perception loop in Cicerobot a museum guide robot," *Neurocomputing* 72, pp 760-766, 2009.
- [61] F.M.M.O Campos JMF Calado, "Approaches to human arm movement control A review," *Annual reviews in control* 22 pp 69-77,2009.
- [62] J Moreno- et al, "Video sequence motion tracking by fuzzification techniques," *Applied Soft Computing* 10, pp 318-331, 2010.
- [63] F Tafazzoli, R Safabakhsh, "Model-based human gait recognition using leg arm movements" *Engineering applications of artificial intelligence* , Vol 23 issue 8, 2010.
- [64] A Ali DA Potter, "Novel signal processing circuit for contactless motion detection," *Sensors and Actuators A* 157, pp 173-177, 2010.
- [65] J Park et al, "Biomechanical parameters on body segments of korean adults," *International Journal of Industrial Ergonomics*, pp 23-31, 1999.
- [66] B Boulay et al, "Applying 3d human model in a posture recognition system," *Pattern recognition Letters* 27, pp 1788-1796, 2006.
- [67] R Soutas-Little,. *Gait analysis in the science of rehabilitation* Monograph 002, Section II. Chapter two Motion analysis and biomechanics, pp. 1-20, 1998 [Online] Disponible en <http://www.rehab.research.va.gov/mono/gait/soutas-little.pdf>.
- [68] C Díaz et al, "Descripción de un dispositivo destinado al análisis de la marcha en dos dimensiones Cinemed," *Revista EIA* Nro5 pág. 85-92 junio 2006.
- [69] C Díaz et al, "Detección, rastreo y reconstrucción tridimensional de marcadores pasivos para análisis de movimiento humano Cinemed II," *Revista EIA* Nr6 pág. 56-67, junio 2009.
- [70] M Chaves et al, "Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación," *Revista Ingeniería Biomédica* Vol. 4 Nro. 7 pág. 63-73,2010.
- [71] BA MacWilliams et al, "A functional axis based upper extremity model and associated calibrations procedures," *Gait & Posture* 31 pp 289-291, 2010.
- [72] S Liu Y Wang, "An evolutionary neural network based tracking control of a human arm in the sagittal plane" ISICA 2007, LNCS 4683, Springer-verlag Berlin Heidelberg, pp 316-325, 2007.
- [73] V Kruger et al, "The meaning of action: a review on action recognition and mapping," *Advanced robotics*. Vol 21 Nro 13 pp 1473-1501, 2007.
- [74] K Tzevanidis A Argyros, "Unsupervised learning of background modeling parameters in multicamera Systems," *Computer vision and Image understanding* 115, pp 105-116,2011.
- [75] J Bae, M Tomizuka," Gait phase analysis based on a hidden markov model" *Mechatronics* Vol 21, Issue 6, pp. 961-970,2011.
- [76] F Hampson JC Pesquet,"Motion estimation in the presence of illumination variations," *Signal processing: Image communication* 16, pp 373-381, 2000.
- [77] E Ceseracciu et al, "Markless analysis of frontal crawl swimming," *Journal of biomechanics* 44, pp 2236-2242, 2011.