

Tendencias actuales en el desarrollo de la robótica en México Current trends in robotics development in Mexico

E. J. Alvarez-Sánchez ^a, F. Aldana-Franco ^a, J. G. Leyva-Retureta ^a, R. Aldana-Franco ^a
R. Villafuerte-Segura ^b, O. A. Domínguez-Ramírez ^{b,*}

^a Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Veracruzana, 91000, Xalapa, Veracruz, México.

^b Área Académica de Computación y Electrónica, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Editorial

Apreciables lectoras y lectores de este número especial sobre las Tendencias actuales en el desarrollo de la robótica en México. Como resultado de la colaboración entre la Asociación Mexicana de Robótica e Industria, la Universidad Veracruzana y la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo con la revista Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, tenemos el agrado de presentarles los 22 artículos que integran al presente número. Deseamos sea del interés de ustedes y de toda la comunidad científica y educativa del país.

Propósitos de la Robótica y Tendencias en la Actualidad

Ante un mundo en permanente cambio, en el que la dinámica geológica, el cambio climático y el crecimiento desmesurado de la población, representan factores que condicionan nuestro desarrollo. Con el fortalecimiento de sus habilidades cognitivas, el ser humano se ha convertido en agente de su propia transformación, produciendo formidables avances como parte de la requerida adaptación.

La tecnología actual, ha permitido una impresionante capacidad del análisis y procesamiento de la información en tiempo real con propósitos diversos. Como parte de las estrategias emergentes ante la dinámica en el mundo, la robótica y la inteligencia artificial, juegan un rol importante en la solución parcial o total de un importante número de problemas, como parte del proceso de transformación.

El amplio campo de aplicación de la robótica representa un constante desafío; un importante número de comunidades científicas en el mundo se han integrado para conciliar y acordar estrategias de solución. Las múltiples contribuciones se han transparentado en publicaciones científicas en revistas de prestigio, y la protección industrial e intelectual a través de patentes de novedosos desarrollos tecnológicos.

Es por lo anterior que dentro de los distintos campos de investigación a la robótica se le ha permitido fortalecer su incursión en: i) industria, ii) medicina, iii) protección civil, iv)

v) exploración y supervisión, v) interacción social y servicio al cliente, vi) entretenimiento, vii) energía y medio ambiente, entre otras no menos importantes. En cada aplicación, la percepción, la electromecánica, la comunicación, la decisión y el control constituyen los subsistemas que integran al sistema robótico.

El desarrollo de algoritmos para el procesamiento de señales y datos, de novedosos sensores y actuadores, de elementos electrónicos para acondicionamiento, de mecanismos de transmisión de movimiento y conversión de energía, de estrategias para la decisión en tiempo real y planificación de movimiento y fuerzas interactivas, así como la adaptabilidad ante la incertidumbre del entorno de operación, corresponden a algunos de los retos de innovación.

La Robótica en México

Las condiciones que prevalecen hoy en día en México y en el mundo, representan un foco de interés y por lo tanto de atención para la comunidad científica dedicada a soluciones robóticas. La educación superior y de posgrado; así como, los diversos centros de investigación en nuestro país, han prosperado en la última década.

Del mismo modo, se han integrado comunidades que formalizan su interacción profesional a través de eventos académicos, como: seminarios, coloquios, congresos y torneos de competencia en la solución de retos. En ellos, la interacción y el intercambio de ideas, permite generar condiciones idóneas para la conformación de redes académicas y movilidad de estudiantes e investigadores.

La comunidad más grande y prospera; así como, con mayor experiencia en México, es la Asociación Mexicana de Robótica e Industria, A. C., AMRob; el Congreso Mexicano de Robótica, COMRob se ha fortalecido significativamente a través de los años, no sólo por la dimensión de integrantes que la conforman, también por las contribuciones significativas en la divulgación de los resultados de investigación y la concientización de que la robótica es una de las más importantes tecnologías emergentes.

*Autor para la correspondencia: omar@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: eralvarez@uv.mx (Ervin Jesús Alvarez-Sánchez), faldana@uv.mx (Fernando Aldana Franco), guleyva@uv.mx (José Gustavo Leyva-Retureta), raldana@uv.mx (Rosario Aldana-Franco), villafuerte@uaeh.edu.mx (Raúl Villafuerte-Segura), omar@uaeh.edu.mx (Omar Arturo Domínguez-Ramírez).

Tendencias Actuales en el Desarrollo de la Robótica en México

La convocatoria para publicar en el número especial 2, volumen 12, de la revista Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, estuvo asociada a tres importantes rubros: i) Tópicos Selectos de Control (TSC), ii) Tópicos Selectos de Robótica (TSR), y iii) Tópicos Especiales (TE); integrados de la siguiente manera:

- TSC: Control Lineal, Control No Lineal, Control de Impedancia, Control Difuso, Control Adaptable y Control de Robots.
- TSR: Robótica Móvil, Robótica Humanoide, Robótica Educativa, Robots de Competencia, Robótica Médica, Robots Autónomos, Robots Hexápodos, Robots Uniciclo, Robótica Colaborativa y Plataformas Paralelas.
- TE: Modelado Cinemático y Dinámico, Diseño de Robots, Inteligencia Artificial, Teleoperación de Robots, Realidad Virtual, Interfaces Hápticas y Visión.

Los artículos sometidos fueron evaluados a través de un arbitraje a doble ciego, para su posible publicación en el número especial; las evaluaciones fueron comunicadas a los autores, a través de la plataforma de administración de publicaciones científicas OJS (Open Journal Systems). De este proceso, fueron seleccionados 22 artículos con las mejores evaluaciones.

Una breve descripción de las contribuciones reportadas en cada uno de los artículos aceptados para este número especial se presenta a continuación, agrupándolos en temáticas representativas.

Robótica Móvil

La primera contribución, corresponde al artículo “Control-observador para seguimiento en un robot diferencial de segundo orden”, de Castro-Romero, et al. (2024). Se presenta el diseño de un control con observador de estados para el seguimiento de trayectoria de un robot móvil diferencial; el observador de estados permite resolver la dificultad de la medición de las velocidades lineales. La validación de la convergencia de movimiento (posición y velocidad), se verifica en simulación digital.

Basado en teoría algebraica de grafos, en Alfonso-Jiménez et al. (2024), se propone el diseño y validación en simulación digital, de una estrategia de control para seguimiento coordinado en un sistema multi-agente, conformado por dos tipos de robots móviles (Ackerman y diferenciales). El título de esta contribución es: “Seguimiento en formación para un sistema multi-agente heterogéneo”.

En el artículo “Comparisson between generalized geometric triangulation and odometry”, de Mar-Castro et al. (2024), se presenta un estudio comparativo experimental de dos algoritmos de estimación relativa y absoluta de pose para robots móviles.

Por otra parte, en el artículo “Predicción del ángulo de giro para un auto: Implementación de dos áreas de interés”, de

Martínez-Hernández et al. (2024), se propone un algoritmo basado en redes neuronales convolucionales para la predicción del ángulo de giro de un vehículo en movimiento. Se presenta una validación experimental en tiempo real, con vehículos a escala libre de obstáculos.

Castro-Zenil et al (2024) en su contribución “Diseño de un robot móvil para realizar la siembra de semillas de cereales en parcelas con previa labranza”, proponen un robot móvil con dedicación a la siembra de semillas de cereales en terrenos labrados. La tarea integral comprende la siembra, la fertilización y el cierre de surco; y cuyas consignas y parámetros de configuración son establecidos a través de una aplicación móvil.

En el artículo “Control predictivo y tolerancia a fallas de un cuadrirrotor”, Velázquez-Carrasco et al. (2024) proponen un esquema de adaptabilidad y reconfiguración ante la presencia de fallas basado en planitud en un cuadrirrotor, empleando un control predictivo de modelo lineal.

Leal-Ramos et al. (2024), proponen en su artículo “Plataforma experimental para el modelado y control de robots omnidireccionales” a una plataforma en arquitectura abierta, basada en ROS; para ello, evalúan un control por rechazo activo de perturbaciones. Un observador de estado extendido estima como una perturbación total a la incertidumbre en parámetros, la dinámica de fricción y perturbaciones externas.

En el artículo “Control de velocidad de un robot esfera con locomoción inercial”, Herrera-Cordero et al. (2024), se presenta un control de velocidad de un robot esfera, la validación numérica se desarrolla en el caso lineal y en el caso no lineal. Se definen las condiciones dinámicas a través de la señal de control para la selección oportuna de los actuadores del robot.

Vázquez-Tzompantzi et al. (2024), en su artículo “Diseño y validación de un UUV con sistema de visión computacional integrado”, proponen el diseño y validación de un vehículo submarino no tripulado, empleando un sistema de visión para el procesamiento de imágenes en entornos desafiantes. Se emplean herramientas de OpenCV para detección y reconocimiento en tiempo real de estructuras y objetos sumergidos.

Un observador proporcional integral convexo para la estimación de fallas en actuadores de un robot móvil con ruedas mecanum, es presentado en Luna-Aguilar et al. (2024), cuya contribución tiene por título “Estimación de fallas en actuadores de un robot móvil con ruedas mecanum”, en este artículo, se emplea la técnica del sector no lineal para desarrollar un modelo convexo con estructura producto tensor.

En Lascurain et al, (2024), cuyo título de su contribución es “Diseño de sistema fotovoltaico para vehículo de recolección de residuos”, se propone un sistema de alimentación fotovoltaica empleando baterías de ion litio reutilizadas con una adaptación novedosa del controlador de carga.

Robots Manipuladores

Domínguez-Prado et al. (2024), en su artículo: “Control cinemático para el seguimiento de trayectorias de un manipulador 3R”, en el que la percepción exteroceptiva para la retroalimentación se emplearon cámaras infrarrojas para la

definición de las coordenadas operacionales en el extremo final del robot; para ello, se utiliza la cinemática inversa de posición y velocidad para retroalimentar a un control cinemático articular.

Cervantes-Pérez et al. (2024), en su artículo “Un controlador robusto entrada-estado estable basado en un enfoque por moldeo de energía para robots manipuladores accionados por par”, presentan el diseño, análisis y experimentación de una ley de control robusta basado en un enfoque por moldeo de energía. La contribución es validada de manera experimental en un robot manipulador con dos grados de libertad.

En el artículo “Seguimiento de trayectorias para un robot manipulador antropomórfico mediante APF's”, Flores-Murcia et al. (2024), proponen un algoritmo de control empleando la teoría de campos potenciales atractivos y el gradiente descendente, en robots manipuladores con tareas de seguimiento de trayectorias. Se presenta una validación en simulación digital para un robot con tres grados de libertad.

Mayora-Reyes et al. (2024), en su contribución “Esquema líder-seguidor para el control de posición de robots manipuladores de 3 GDL”, presentan un esquema líder-seguidor con dos robots manipuladores en tareas de seguimiento con validación numérica.

Robótica Asistencial y Médica

En el artículo “Diseño y construcción de un dispositivo trazador controlado mediante movimientos de cabeza”, Pérez-Silva et al. (2024), presentan un prototipo de robot cartesiano para el trazo y dibujo asistido para pacientes con discapacidad motriz en miembros inferiores y superiores, como es el caso de la tetraplejia. Para ello las consignas de movimiento, se establecen a partir del uso de percepción basada en giroscopios y acelerómetros en comunicación inalámbrica con un microcontrolador.

Aplicaciones especiales

En el artículo “Regulación de velocidad robusta de un motor de CD usando un método basado en datos con RNA”, de Castro-Liera et al. (2024), se presenta un trabajo experimental de control de velocidad angular de un motor de corriente directa con campo fijo; se emplea un control basado en redes neuronales artificiales; se desarrollan pruebas de robustez a partir de la aplicación de perturbaciones variantes en el tiempo.

Vázquez-Ortiz et al. (2024), en su contribución “Diseño y construcción de un satélite enlatado”, presentan una propuesta de los elementos que integran a los subsistemas de telemetría, de procesamiento, de potencia eléctrica y electromecánico, que constituyen a un satélite CanSat.

Muñoz-Torres et al. (2024), en su artículo “Comparativa de un sistema de visión de tiempo real bajo Xenomai y PREEMPT”, presentan el diseño y programación de un sistema de visión sobre dos sistemas operativos de tiempo real, con el propósito de analizar el rendimiento, basado en los tiempos de ejecución. Se presentan resultados experimentales asociados al movimiento armónico simple de un péndulo simple, a partir del procesamiento de la imagen para el cálculo de su centroide.

En el artículo “Design of a mobile aquatic feeder for *Oreochromis niloticus*”, Arceo-Díaz et al. (2024) proponen un prototipo mecatrónico para la alimentación controlada en regiones de un estanque, y en las proporciones adecuadas de alimento para un cardumen de peces.

Cortés-Ruíz et al. (2024) presentan en su artículo “Análisis cinemático de un robot paralelo 6-UPUR mediante teoría de tornillos” a la cinemática de posición y diferencial para un robot de 6 grados de libertad 6-UPUR; para ello, la cinemática de velocidad es definida empleando teoría de tornillos. Se presenta una validación numérica.

Prieto-Entenza et al. (2024), cuyo título del artículo es “Control por modos deslizantes basado en proxy activo con rechazo a perturbaciones mediante observador difuso de estado extendido”, proponen un control por modo deslizante basado en proxy, enfocado a sistemas de segundo orden; se emplea un observador de estado extendido difuso para estimar perturbaciones externas con el propósito de atenuar sus efectos en lazo cerrado. Se presentan simulaciones digitales en un péndulo simple.

Agradecimientos

Los autores de esta editorial queremos agradecer al Dr. Raúl Villafuerte-Segura por todo el apoyo brindado para poder editar el presente número especial dedicado a trabajos de investigación y profesionales en el ámbito de la robótica.

Referencias

- Alfonso-Jiménez, J. L., Santiaguillo-Salinas, J., García-Lozano, H. N., Pérez-Castro, N. (2024). Seguimiento en formación para un sistema multi-agente heterogéneo. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 8-13. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12073>
- Arceo-Díaz, S., Jaramillo-Martínez, R., Gallegos-Ojeda, S., Núñez-Núñez, M. A., Ramírez-Mota, J., Mirelez-Delgado, F. (2024). Design of a mobile aquatic feeder for *Oreochromis niloticus*. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 86-92. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12271>
- Castro-Liera, M. A., Higuera-Verdugo, C., Sandoval-Galarza, J. A., Castro-Liera, I. (2024). Regulación de velocidad robusta de un motor de CD usando un método basado en datos con RNA. *Pádi, 12, Especial 2*, 21-27. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12165>
- Castro-Romero, L. A., García-Lozano, H. N., Santiaguillo-Salinas, J., Pérez-Castro, N. (2024). Control-observador para seguimiento en un robot diferencial de segundo orden. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 1-7. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12072>
- Castro-Zenil, M. S., Alvarado-López, A., Peñaloza-Mendoza, G. R., Becerra-Tapia, V. (2024). Diseño de un robot móvil para realizar la siembra de semillas de cereales en parcelas con previa labranza. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 46-51. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12262>
- Cervantes-Pérez, L. E., Santibáñez-Dávila, V. A., Sandoval-Galarza, J. A. (2024). Un controlador robusto entrada-estado estable basado en un enfoque por moldeo de energía para robots manipuladores accionados por par. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 59-66. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12266>
- Cortés-Ruiz, H. J., Arias-Montiel, M. (2024). Análisis cinemático de un robot paralelo 6-UPUR mediante teoría de tornillos. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 108-114. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12287>
- Domínguez-Prado, A. F., Hernández-Montalvo, A. I., Santiaguillo-Salinas, J., García-Lozano, H. N., González-Zárate, R. F. (2024). Control cinemático para el seguimiento de trayectorias de un manipulador 3R. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 14-20. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12076>
- Flores-Murcia, Z., Lara-Solís, D. Y., Santiaguillo-Salinas, J., Aranda-Bricaire, E. (2024). Seguimiento de trayectorias para un robot manipulador

- antropomórfico mediante APF's. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 80-85.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12270>
- Herrera-Cordero, M., Arias-Montiel, M. (2024). Control de velocidad de un robot esfera con locomoción inercial. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 100-107.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12284>
- Lascurain, C. R., Leyva-Retureta, J. G., Aldana-Franco, F., Alvarez-Sánchez, E. J., Aldana-Franco, R. (2024). Diseño de sistema fotovoltaico para vehículo de recolección de residuos. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 142-147.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12406>
- Leal-Ramos, L. Y., Jonguitud-Indalecio, L. A., Ortiz-Michimani, M. F., Díaz-Téllez, J., Sánchez-Santana, J. P., Guerrero-Castellanos, J. F. (2024). Plataforma experimental para el modelado y control de robots omnidireccionales. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 93-99.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12282>
- Luna-Aguilar, N. M., Gasga-García, P., Gómez-Peñate, S., López-Estrada, F. R., Santos-Ruiz, I. (2024). Estimación de fallas en actuadores de un robot móvil con ruedas mecanum. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 135-141.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12363>
- Mar-Castro, E., Aparicio-Lastiri, L.M., Pérez-Arista, O.V., Núñez-Cruz, R.S., Antonio-Yañez, E.D. (2024). Comparison between generalized geometric triangulation and odometry. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 28-33.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12240>
- Martínez-Hernández, F. E., Arias-Aguilar, J. A., Macias-García, E., Ramírez-Cárdenas, O. D. (2024). Predicción del ángulo de giro para un auto: Implementación de dos áreas de interés. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 40-45.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12260>
- Mayora-Reyes, B., González-Torres, D., Santiaguillo-Salinas, J. (2024). Esquema líder-seguidor para el control de posición de robots manipuladores de 3GDL. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 129-134.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12357>
- Muñoz-Torres, J. L., Bugarin-Carlos, E., Rodríguez-Orozco, E., Rojas-Quintero, J. A., Aguilar-Bustos, A. Y. (2024). Comparativa de un sistema de visión de tiempo real bajo Xenomai y PREEMPT_RT. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 74-79.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12268>
- Pérez-Silva, R. B., Peñaloza-Mendoza, G. R., Campos-Hernández, A., Flores-Medina, P. J. (2024). Diseño y construcción de un dispositivo trazador controlado mediante movimientos de la cabeza. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 52-58.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12265>
- Prieto-Entenza, P. J., Plata-Ante, C., Coria-de los Ríos, L. N., Ramírez-Villalobos, R., García-Alarcón, O. A., Camacho-González, J. A. (2024). Control por modos deslizantes basado en proxy activo con rechazo a perturbaciones mediante observador difuso de estado extendido. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 115-121. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12289>
- Vázquez-Ortiz, R., Aboytes-Hernández, A. I., Ortíz-Olvera, A. A. (2024). Diseño y construcción de un satélite enlatado. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 34-39.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12241>
- Vázquez-Tzompantzi, M., Salgado-Jiménez, T., Silva-Morales, B. Y. (2024). Diseño y validación de un UUV con sistema de visión computacional integrado. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 122-128. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12346>
- Velázquez-Carrasco, J. C., Castañeda-Camacho, J., Martínez-Torres, C. (2024). Control predictivo y tolerancia a fallas de un cuádrirrotor. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías, 12 (Especial 2)*, 67-73. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial2.12267>