

# SISTEMAS ROBOTICOS TELEOPERADOS

## Teleoperated Robotics Systems

Alexander Cerón Correa \*

Facultad de Ingeniería

Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C Colombia

### RESUMEN

En el presente artículo se realiza una revisión general sobre los sistemas robóticos teleoperados, su estructura, componentes principales, clasificación, tipos de sensores, sistemas de locomoción y aplicaciones; como ejemplo se mencionan algunos trabajos realizados Colombia y en el mundo.

*Palabras Claves-* Robot, móvil, teleoperación, visión remota, telepresencia.

### ABSTRACT

This paper describes a review of teleoperated robotic systems, structure, principal components, classification, sensors, locomotion systems and applications; also are mentioned several developments in Colombia and the world

*Keywords-* Robot, mobile, teleoperation, remote vision, telepresence.

## I. INTRODUCCIÓN

Existen muchas circunstancias en las cuales no es conveniente emplear personas para la realización de algunas labores debido al alto riesgo a que ellos se exponen; por esta razón se han desarrollado diversas herramientas o equipos que permiten reemplazar al hombre al realizar estas operaciones a distancia. Dentro de estos equipos se encuentran los móviles teleoperados también conocidos como robots a

pesar de no ser autónomos en sí mismos [6][10].

Los robots teleoperados son aquellos controlados por un usuario a distancia desde una estación remota. Dada su gran utilidad, se han empleado en diversos campos. Este tipo de manejo supone una ventaja desde el punto de vista de la protección y seguridad del usuario, ya que en caso de realizar trabajos en ambientes inseguros o inestables o con sustancias potencialmente peligrosas, como químicos o explosivos, no se arriesga su integridad física [7][15].

En el desarrollo de robots teleoperados se involucra la electrónica, las comunicaciones, el control, la inteligencia artificial (IA) y la visión por computador.

El uso de IA se puede apreciar en las decisiones que debe tomar el robot por ejemplo: evitar obstáculos al ir de un sitio a otro, eligiendo el camino mas corto o cuando se le enseña a reaccionar frente a ciertos estímulos y responde acertadamente a estímulos nuevos como en el caso de las redes neuronales. La visión por computador es utilizada cuando las tareas del robot involucran el procesamiento de imágenes provenientes de cámaras de video que pueden estar ubicada en el mismo. Tanto la IA como la visión por computador pueden simplificar significativamente el trabajo del operador.

---

\* Autor Corresponsal . [aceronc@umng.edu.co](mailto:aceronc@umng.edu.co). Profesor Auxiliar. Ingeniero de Sistemas.

## II. COMPONENTES DE UN SISTEMA TELEOPERADO

Un sistema teleoperado se compone principalmente de una estación de teleoperación, un sistema de comunicación y esclavo, el esclavo puede ser un manipulador o un robot móvil equipado con un manipulador ubicado en un entorno remoto como el robot Andros Wolverine de la empresa Remotec que se ilustra en la figura 1. La estación de teleoperación permite controlar al esclavo a distancia por medio del sistema de comunicación, el cual permite transmitir las señales de control hacia el esclavo y, a su vez, recibir señales de información sobre el estado de éste en la estación de teleoperación a través de un canal de comunicación que puede ser una red de computadores, un enlace de radio frecuencia o microondas.



Figura 1. Componentes de un sistema teleoperado (a) Estación de teleoperación, (b) Robot (esclavo), adaptado de [1]

Una estación de teleoperación puede estar compuesta por un computador y, en este caso, se utilizan los dispositivos de entrada y de salida para interactuar a distancia. Los dispositivos de entrada pueden ser el teclado y una palanca de control y los de salida, pueden ser un monitor y los parlantes. El software que se encuentra en el computador tiene una interfaz gráfica de usuario que permite interactuar con el robot a distancia. El esclavo es el dispositivo controlado a distancia, puede ser un móvil, un robot o un brazo mecánico. [7][14][15].

Una interfaz para teleoperación de robots maneja bastante información en tiempo real,

es decir información que es necesario procesar bajo ciertas restricciones de tiempo para tomar alguna acción. Para obtener esta información los robots móviles están provistos de una gran cantidad de sensores los cuales se encargan de detectar magnitudes físicas, estos pueden ser de proximidad, posición, inclinación y posiblemente de cámaras de video, por tal razón en la construcción del software se debe tener en cuenta la optimización del tiempo en cada tarea. Además la interfaz hombre máquina debe estar diseñada de tal manera que la información sea presentada adecuadamente de tal manera que se facilite tanto la ubicación espacial como el acceso del usuario a la información esencial para así evitar cuellos de botella [13].

El esclavo se encuentra en un entorno remoto y se controla a distancia desde una estación de teleoperación. La persona que lo controla obtiene información del ambiente en el que se encuentra el robot, esta información es obtenida mediante sensores, permitiendo al usuario interactuar con el medio ambiente a distancia dando la sensación de estar físicamente en otro lugar (telepresencia) [6][10].

## III. FUNCIONAMIENTO DEL ROBOT

El robot (esclavo) está controlado por medio de un programa interno con el objeto de realizar tareas propias y tener mayor autonomía. Este programa está ubicado en la memoria de un sistema de procesamiento de datos sea éste un computador, un DSP (procesador digital de señales), un microprocesador o un microcontrolador. Los microcontroladores son pequeños computadores provistos de diversas prestaciones, existe una gran gama lo cual permite adaptarlos en diferentes aplicaciones, donde su utilización da lugar a estructuras altamente funcionales.

### A. Tipos de locomoción

Los robots móviles pueden desplazarse por medio de diversos sistemas de locomoción tales como ruedas, orugas, patas o una mezcla

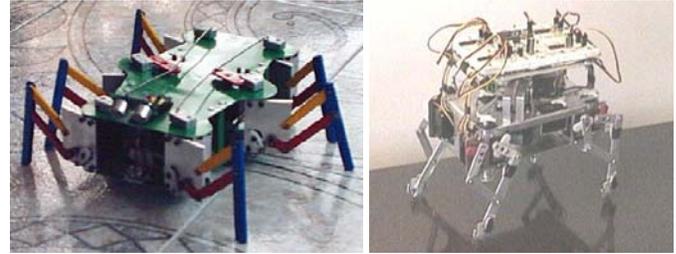
de los anteriores bajo diferentes configuraciones como:

*Ackerman*: Similar al sistema de dirección de cualquier automóvil de cuatro ruedas. Normalmente los vehículos robóticos desarrollados con esta configuración resultan de la modificación o adaptación de vehículos convencionales [14].

*Triciclo clásico*: Esta compuesto de tres ruedas, la delantera sirve para proveer tracción y dirección, el eje trasero tiene acopladas dos ruedas paralelas que se mueven libremente. Tiene problemas de estabilidad en terrenos difíciles debido a que tiene pocos puntos de apoyo [14].

*Pistas de deslizamiento*: Son vehículos tipo oruga en los que tanto la tracción como el direccionamiento se consigue mediante bandas de tracción o pistas de deslizamiento este tiene desventajas como una reducción de velocidad en comparación al uso de ruedas y un gasto mayor de energía ya que en la rotación existe mucho rozamiento entre el suelo y las pistas de deslizamiento una solución a este problema es buscar que el polígono de sustentación sea lo mas pequeño posible procurando no perder estabilidad [14]. Un ejemplo de este tipo de configuración es el robot RMTO I que se puede observar en la figura 5 o el Detek, del cual se va a hablar mas adelante.

*Locomoción mediante patas*: Tienen la ventaja de permitir locomoción en terrenos difíciles evitar obstáculos y omnidireccionalidad, pero su desventaja es requerir un consumo de energía mayor que con ruedas. Además que el problema de planificación y control es mas complejo que un robot de ruedas u orugas [16][18]. En la figura 2 se muestra un robot hexápodo [16], y un cuadrúpedo [18].



(a) (b)  
Figura 2. Robots con sistemas de locomoción por patas  
(a) Hexápodo (b) Cuadrúpedo.

También existen otros tipos de configuraciones como por ejemplo el uso de ruedas omnidireccionales o la mezcla de patas con ruedas como el caso del Sojourner Rover (figura 4). Estas configuraciones tienen la intención de explorar diferentes clases de terrenos y proveer mayor funcionalidad.

La elección de una configuración específica depende de características del proyecto a realizar tales como el tipo de terreno, la velocidad y el nivel de obstáculos que se encuentren.

## B. Sensores para robots móviles

Los robots deben estar provistos de diversos tipos de sensores los cuales cumplen tareas como la detección de proximidad de obstáculos y medición de posición, velocidad, aceleración e inclinación. Para la detección de obstáculos se usan principalmente foto celdas, fotodiodos, sensores de ultrasonido, sensores infrarrojos y cámaras [1][2][13].

Cuando se requiere la medición de posición y velocidad son usados los encoders (codificadores) los cuales están compuestos de un par fotodiodo y fotocelda que permiten registrar posición y velocidad de partes móviles a los cuales se le acopla un disco [6][13].

La realimentación de fuerzas es una técnica útil para el control de manipuladores y robots móviles, ya que la información proveniente de los sensores puede ser convertida en fuerzas aplicadas en los dispositivos de manipulación de la interfaz de teleoperación es decir el usuario puede sentir las colisiones que se presenten en el manejo del robot [20]. Para

esto existen sensores de fuerza y presión de tipo piezo-electrico, resistores de fuerza-sensado o medidores de fuerza [13].

### C. Visión

Dentro de los sensores que pueden colocarse en un robot móvil se encuentran las cámaras de video, las cuales además de permitir el control a distancia (visión remota) también sirven como fuente de información para la toma de decisiones automáticas, esto se realiza por medio de procesamiento de imágenes. Las operaciones principales que realiza un sistema de procesamiento de imágenes para proveer mecanismos de visión a un robot móvil son: el promediado, la segmentación de bordes, el análisis de regiones y la detección de formas [13].

En sistemas más sofisticados se hace uso de sistemas de visión estereoscópica ubicados en el robot y cascos de realidad virtual para el operador, en los cuales graficas por computador se combinan con las imágenes provenientes de las cámaras el resultado es visualizada en un monitor o en el casco, lo cual se conoce como realidad aumentada [11][5].

### E. Inteligencia Artificial

Dentro del sistema de procesamiento de datos pueden existir algoritmos que permitan simplificar el trabajo del operador, estos pueden ser algoritmos de planeación de trayectorias con el objeto de que el robot realice tareas simples como ir de una posición  $(x_i, y_i)$  a otra  $(x_f, y_f)$  evitando obstáculos utilizando la información de los sensores, y la de posición que puede ser obtenida mediante el uso de brújulas electrónicas, triangulación con sensores infrarrojos o un GPS.

Existen métodos para hacer la evasión de obstáculos en tiempo real como por ejemplo el campo de fuerza virtual y el histograma de vector de campo [3], otra ventaja del uso de la IA es dotar al robot de mayor autonomía, ya que es posible que el usuario no tenga el tiempo suficiente, para evitar los obstáculos

que se presenten en el camino ya sea a causa de demora en las comunicaciones o por el hecho de estar realizando otras al tiempo.

## IV. CLASIFICACIÓN Y ALGUNOS DESARROLLOS

La robótica ha evolucionado con rapidez y se han desarrollado diversos tipos de robots móviles. Algunos de ellos han sido robots teleoperados y otros robots dotados de cierto grado de autonomía. Los robots teleoperados pueden clasificarse de la siguiente manera:

### D. Vehículos terrestres no tripulados

Los vehículos terrestres no tripulados se emplean principalmente en operaciones militares de reconocimiento de terreno e incursión en zonas peligrosas. El desarrollo de estos proyectos comúnmente es financiado por el departamento de defensa de los países desarrollados.

Un ejemplo, es el vehículo teleoperado USMC (US Marine Corp) desarrollado por la compañía Spawar Systems Center (SSC) de San Diego como parte del programa Ground Air TeleRobotic Systems (GATERS) bajo la dirección de la Unmanned Ground Vehicle Joint Program Office (UGV/JPO) ver figura 3. Compuesto principalmente de tres módulos: movilidad, vigilancia y armas y provisto de cámaras de video y micrófonos para lograr telepresencia [7][15][26].



Figura 3. Vehículo teleoperado USMC

### A. Robots teleoperados de pequeña escala

Este tipo de robot constituye un resultado de investigaciones realizadas en universidades y centros de investigación y desarrollo. Los robots teleoperados de pequeña escala se desarrollan con propósitos científicos, es el caso de los robots enviados en misiones espaciales, como el Sojourner Rover ver figura 4.

El Sojourner Rover es un pequeño vehículo robotizado de seis ruedas, construido por el Jet Propulsion Laboratory de la NASA, diseñado para ser enviado a Marte dentro del Pathfinder, con capacidad de transmitir imágenes y realizar experimentos en el suelo de Marte. El sistema de alimentación del Rover está compuesto de un arreglo de paneles solares, baterías y una electrónica de potencia para su adecuado manejo y distribución, cuenta con la capacidad de moverse en terrenos difíciles y rocosos, ya que posee seis ruedas dotadas de 3 grados de libertad que le permiten adaptarse a terrenos difíciles [23].



Figura 4. Robot Sojourner Rover

### B. Robots de uso policial para desactivación de bombas

Los robots teleoperados que se emplean para la manipulación y desactivación de bombas están provistos, en su mayoría, de manipuladores y de una o más cámaras de

alta definición, Por tal razón deben tener un alto grado de precisión en el control de manipuladores, también estar dotados de mecanismos de locomoción que permitan afrontar diferentes tipos de terrenos.

Estos robots son empleados por la policía o las empresas de seguridad en situaciones en las que se desconfa de paquetes y en la inspección de vehículos sospechosos.

El Wolverine es un modelo fabricado por Sandia National Laboratories en colaboración con la empresa Remotec, al que se le introdujo un software especializado desarrollado por Sandia llamado SMART (Sandia Modular Architecture for Robotics and Teleoperation). El programa automatiza muchos de los movimientos del robot, dejando al operador el control del "comportamiento" de la máquina [1].

## V. APLICACIONES

Los robots teleoperados pueden encontrarse en la industria nuclear (mantenimiento de reactores), química (manejo a distancia de sustancias peligrosas o tóxicas), militar (detección, manipulación y desmantelamiento de cargas explosivas), desminado humanitario, espacial (exploraciones realizadas en la luna y en marte, también en transbordadores espaciales), minera (excavaciones, manejo de cargas explosivas en minas y túneles), en el sector de seguridad, mantenimiento y rescate (inspección de sistemas de alcantarillado y tuberías, reconocimiento de zonas de desastres), telecirugía, entre muchas otras áreas [5][7][11][12].

## VI. ALGUNOS ROBOTS DESARROLLADOS EN COLOMBIA

En nuestro país existen varios grupos de investigación dedicados al desarrollo de robots móviles, manipuladores industriales y sistemas inteligentes dentro de los cuales se pueden encontrar los siguientes robots teleoperados, puede que no sean los únicos que se han desarrollado en el país, pero son un claro

ejemplo del avance colombiano en el campo de la robótica.

### A. RMTO I

En la Universidad Nacional se tiene cuenta del desarrollo del robot móvil teleoperado I (RMTO I), mostrado en la figura 5 [4].



Figura 5. Robot móvil teleoperado I

Este robot es controlado a distancia desde una estación de teleoperación mediante un enlace de radio frecuencia, la imagen proveniente de una cámara ubicada en el robot es transmitida de manera inalámbrica a la estación de teleoperación. En la estación de teleoperación se encuentra un software desarrollado en lenguaje C++ que permite observar la visión del robot y enviar comandos al robot. La interfaz gráfica del software desarrollada para el manejo del robot está compuesta de dos ventanas, una para el despliegue del video proveniente de la cámara del robot y la otra para seleccionar los comandos de control. Una característica importante de este software es permitir el manejo del móvil usando una palanca de juegos (joystick o gamepad), el ratón o el teclado, en la figura 6 se puede observar la interfaz gráfica de usuario del mismo:

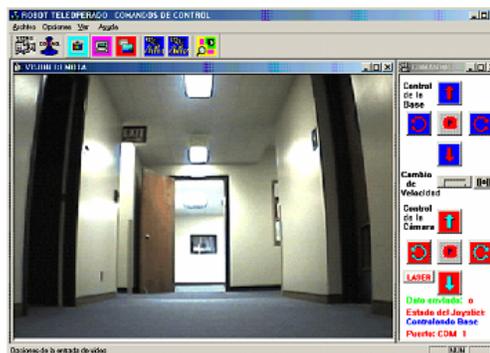


Figura 6. Software para la estación de teleoperación del RMTO I

Lo novedoso de este robot es la utilización de visión remota, ya que no se tiene cuenta de trabajos anteriores en Colombia que la incorporen en la estación de teleoperación.

### B. DETEK, URSULA y R.E.T.O.

Detek es un robot de exploración de ambientes exteriores para la detección de objetos metálicos. Este robot fue desarrollado en la Universidad Javeriana, esta provisto de pistas de deslizamiento y un detector de metales, se ubica por medio de triangulación con sensores infrarrojos [22].

El Ursula también desarrollado en la Universidad Javeriana, utiliza un sistema de locomoción compuesto de 6 ruedas, un detector de metales, esta provisto de una interfaz de teleoperación que permite observar la información proveniente de los sensores, excepto el de la cámara de video [19].

Estos robots han sido desarrollados para atacar el problema del desminado humanitario pero tienen la desventaja de no ser aplicables en terrenos como el colombiano ya que la ubicación de minas puede ser inaccesible para el robot y existen muchos tipos de terrenos en los cuales un robot de estas características no puede navegar.

Es posible mejorar navegación en algunos terrenos no estructurados, mediante el uso de un sistema de locomoción compuesto por ruedas y patas como el que puede observarse en el robot móvil para navegación autónoma en terrenos poco estructurados (R.E.T.O.)

desarrollado en la Universidad Militar “Nueva Granada”, este robot esta compuesto de ruedas provistas de tracción independiente y articulaciones que permiten modificar la altura de las ruedas para evadir algunos tipos de obstáculos [9].

Otra alternativa es el uso robots ápodos (también conocidos como snake robots, robots hiper-redundantes o robots fuertemente articulados) en los cuales el sistema de locomoción imita el movimiento de una serpiente estos se componen de múltiples articulaciones, esta alternativa se encuentra en desarrollo [8].

## VII. CONCLUSIONES

La elección de una configuración de locomoción específica depende de características del proyecto a realizar tales como el tipo de terreno y la velocidad requerida.

Los sensores utilizados en un robot móvil dependen del tipo de obstáculos que se encuentren y las características del entorno donde se desplace el mismo.

En el caso colombiano, el desarrollo de esta clase de tecnología es muy importante, ya que existen muchas circunstancias en las cuales se emplean operarios para realizar diversas tareas de alto riesgo, como la explotación minera, la industria química, la detección, manipulación, eliminación de cargas explosivas y desminado humanitario. Por tal razón es de gran interés la investigación y el desarrollo tecnológico en la ingeniería actual.

## REFERENCIAS

[1] Bennet, P. C. –SAND REPORT “Robotic Mobile Manipulation Experiments at the U.S. Army Maneuver Support Center” SANDIA NATIONAL LABORATORIES, Junio 2002.

- [2] Borenstein J. Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots. IEEE. Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 19, No. 5, Sept./Oct. 1989, pp. 1179-1187.
- [3] Borenstein J. The vector field histogram - Fast obstacle avoidance for mobile robots. IEEE Journal of Robotics and Automation Vol 7, No 3, June 1991, pp. 278-288.
- [4] Cerón A. Desarrollo de un Robot Móvil teleoperado. IEEE Colombian Workshop on Robotics and Automation 2005.
- [5] Chesney R. Augmented Tele – Operation Presented at the IARP Workshop on Humanitarian Demining (HUDEM '02), International Advanced Robotics Program, Vienna, Austria, 3-5 November 2002.
- [6] Everet H. R. Sensor for Mobile Robots - Theory and Application, A. K. Peters Ltd. Wellesley, Massachusetts. 1995.
- [7] Fernández J. A. Manipulador virtual teleoperado, Instituto Militar de Ingeniería, Río de Janeiro, 2002.
- [8] González-Gómez, J, Aguayo E. and Boemo E., “Locomotion of a Modular Worm-like Robot using a FPGA-based embedded MicroBlaze Soft-processor”, 7th International Conference on Climbing and Walking Robots, CLAWAR. 2004.
- [9] Guerra R., A. Londoño. Diseño, simulación y construcción de un robot móvil para navegación autónoma en terrenos poco estructurados (R.E.T.O.). Universidad Militar Nueva Granada 2004.
- [10] Jones J. Mobile Robots, Inspiration to Implementation. A. K. Peters Ltd. Wellesley, Massachusetts. 1993.
- [11] Lawson S. W. Augmented reality for underground pipe inspection and maintenance. SPIE. 1998.
- [12] Mcfee J.E., V. Aitken, R.Chesney, Y.Das and K. Russell. “A multisensor, vehicle mounted, teleoperated mine detector with data fusion” Proc. SPIE Conference on Detection and Remediation Technologies for Mines and Mine-like Targets III. Vol.3392, Orlando, FL, USA, 13-17 April, 1998.

- [13] Niku S. Introduction to Robotics, Analysis, Systems, Applications. Prentice Hall. 2001.
- [14] Olivares R, C. Zhou, J. Adams, and B. Bodenheimer. Interface Evaluation for Mobile Robot Teleoperation, Proceedings of the ACM Southeast Conference (ACMSE03), pp. 112-118, Savannah, GA, March 2003.
- [15] Ollero A. Robótica manipuladores y robots móviles. Alfaomega. 2001.
- [16] Pérez A. Diseño y construcción de un robot móvil hexápodo, Universidad de los Andes. 2003.
- [17] Reinoso O. Sistemas automáticos y de aprendizaje e arquitecturas de control para teleoperación, Universidad Miguel Hernández, España.
- [18] Reyes C. Diseño y construcción de un prototipo de robot caminador cuadrúpedo Universidad Nacional. 2003.
- [19] Rizo, J.,y otros. URSULA: Robotic Demining System, ICAR, 2003.
- [20] Sangyoon Lee, Gaurav S. Sukhatme, Gerard Jounghyun Kim, Chan-Mo Park. Haptic Control of a Mobile Robot: A User Study. 2002.
- [21] Stone, H. W., Mars Pathfinder Microrover: A Low-Cost, Low-Power Spacecraft, Proceedings of the 1996 AIAA Forum on Advanced Developments in Space Robotics, Madison, WI, August 1996.
- [22] Suarez, J. y otros., Robot de Exploración de Ambientes Exteriores para la detección de objetos metálicos "Detek", 2002.
- [23] <http://mpfwww.jpl.nasa.gov/MPF/rover/sojourner.html>
- [24] <http://www.geocities.com/alexanderceron>
- [25] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/ugv.htm>
- [26] <http://www.spawar.navy.mil/robots/land/tov/tov.html>