

Método de evasión de colisión para Sistema de Teleoperación Multi Operador - Multi Robot

Autor: Sebastián García

Instituto de automática (INAUT), *Universidad Nacional de San Juan, Argentina.*
sgarcia@inaut.unsj.edu.ar

Resumen— Este trabajo propone un método de evasión de colisión basado en ORCA [12] para sistemas de teleoperación multi operador, donde cada uno de estos conduce un robot móvil, encontrándose estos en un mismo ambiente de trabajo. El método de evasión propuesto solo actúa sobre la velocidad lineal. El análisis permite asegurar que siempre hay una solución. Finalmente, los resultados de pruebas con robots simulados y con el hombre dentro del lazo de teleoperación son presentados.

Palabras Clave— Teleoperación, Multi, Robot, Operador, Evasión Colisión

1. INTRODUCCIÓN

La teleoperación de robots móviles implica manejar a un vehículo a distancia, permitiendo al operador transportar su capacidad y destreza hacia ambiente peligrosos, o inaccesibles por el ser humano. Además, los sistemas de teleoperación pueden integrar métodos de automatización compleja y la capacidad del operador humano para poder cumplir con ciertos requerimientos que presentan las tareas. Esos sistemas son usados en varias aplicaciones, tales como industria militar/defensa, espacial, tele cirugía, seguridad, vehículos submarinos, etc. [9]. Los sistemas de teleoperación pueden ser multi operador y/o multi robot, permitiendo ejecutar tareas de manera cooperativa o independientes y simultáneas. [4] propone y desarrolla un control colaborativo, donde el operador humano y los robots móviles colaboran para llevar a cabo las tareas y objetivos comunes. Para ello se crea un diálogo en forma de preguntas y respuestas entre los robots y operadores. En [6,7] se presenta un esquema de control para teleoperación bilateral de multi robots esclavos incluyendo retardo de tiempo en el canal de comunicación. El esquema propuesto permite asegurar un agarre seguro y firme de un objeto común entre los robots esclavos, independientemente del comando del operador humano, retardo en la comunicación. El operador humano controla el comportamiento global de los multi robots esclavos y el objeto agarrado mientras percibe las fuerzas del ambiente usando un dispositivo háptico. En [1,2] se

propone un control coordinado asistido para un sistema de teleoperación retardado con dos teleoperadores, cada uno controlando un brazo robótico. Luego, en [11] se propone un control no lineal adaptivo para teleoperación cooperativa. Cada operador manipula un brazo robótico. La estabilidad del sistema en la presencia de incertidumbre en los parámetros del modelo dinámico es probada mediante análisis de Lyapunov. Las pruebas fueron realizadas usando dos dispositivos maestros y dos esclavos. En [10] se presenta una extensión de la propuesta original model-mediated teleoperation [13] a sistemas de teleoperación multi operador – multi robot, incluyendo análisis de robustez y fidelidad. La propuesta es validada en un sistema de teleoperación multi operador – multi robot, con dos operadores y dos robots.

Por otro lado, en sistemas autónomos multi robot móvil, se han propuesto varios métodos de evasión de colisión. En [12] se propone un método de evasión de colisión denominado ORCA (Optimal Reciprocal Collision Avoidance) basado en la definición de velocity obstacle [3], donde varios robots holonómicos realizan tareas independientes en un espacio de trabajo común. Esta propuesta provee una condición suficiente para que cada robot realice movimientos libres de colisión. Luego [5] propone un método de evasión de colisión denominado NH-ORCA (ORCA under non-holonomic constraints) basado en ORCA, el cual considera robots móviles no holonómicos. Estos métodos cambian significativamente la velocidad angular de los robots, por lo tanto, el uso de estos métodos en teleoperación puede que no sean adecuados, porque estos provocarían un gran cambio en la referencia de velocidad angular generada por el operador, obteniéndose un pobre transparencia en el sistema de teleoperación.

Este trabajo propone un sistema de teleoperación multi operador – multi robot que incluye un método de evasión de colisión. La propuesta es basada en ORCA, pero para obtener una mejor compatibilidad entre el operador humano y el algoritmo de evasión, nuestra propuesta solo modifica el comando de velocidad lineal, permitiendo al operador controlar totalmente la velocidad angular del robot, lo que le permite al operador seguir el camino que él desea.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: Primero, se presentan los preliminares en la sección 2, donde se muestra una revisión de los principales conceptos de ORCA. Luego, en la sección 3, se formula el problema. La sección 4 presenta la propuesta del método de evasión de colisión. La sección 5 muestra los resultados obtenidos. Finalmente en la última sección se obtienen las conclusiones.

2. PRELIMINARES

2.1. VelocityObstacle

Para dos robots, asumiendo que los robots tienen forma de disco con radio r_i y se mueven en el plano R^2 con posición actual \mathbf{p}_i y velocidad actual \mathbf{v}_i , velocity obstacle para el robot i inducido por otro robot j , ($j \neq i$) es el conjunto de todas las velocidades relativas $\mathbf{v} = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j$ que resultarán en una colisión entre los robots i y j después de un tiempo preestablecido τ :

$$VO_{i|j}^\tau = \{\mathbf{v} | \exists t \in [0, \tau] :: t\mathbf{v} \in D(\mathbf{p}_j - \mathbf{p}_i, r_i + r_j)\} \quad (1)$$

con $D(\mathbf{p}, r) = \{\mathbf{q} | \|\mathbf{q} - \mathbf{p}\| \leq r\}$ el disco cerrado de radio r centrado en \mathbf{p} . Los conjuntos $VO_{i|j}^\tau$ y $VO_{j|i}^\tau$ son simétricos en el origen. Fig. 1 muestra la interpretación geométrica del conjunto velocity obstacle $VO_{i|j}^\tau$.

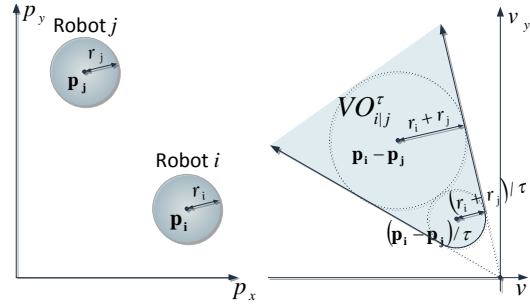


Figura 1: Interpretación geométrica del conjunto $VO_{i|j}^\tau$

El conjunto abierto de evasión de colisión puede ser definido como el conjunto de todas las velocidades relativas $\mathbf{v} = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j$ que garantizan movimientos libres de colisión:

$$CA_{i|j}^\tau = \{\mathbf{v} | \mathbf{v} \notin VO_{i|j}^\tau\} \quad (2)$$

2.2. Optimal Reciprocal Collision Avoidance (ORCA)

ORCA [12] es un método basado sobre la definición de velocity obstacle [3] que provee una condición suficiente para evitar colisiones entre varios robots móviles no holonómicos. Dado un conjunto de n robots en un espacio de trabajo común, y asumiendo que los robots tienen forma de disco con radio r_i y se mueven en el plano R^2 con posición y velocidad actual, \mathbf{p}_i y \mathbf{v}_i respectivamente; el objetivo de este método es obtener una velocidad nueva $\mathbf{v}_i^{\text{new}}$ tan cerca como sea posible de una dada velocidad preferida $\mathbf{v}_i^{\text{pref}}$ que garantice movimientos libres de colisión para al menos un preestablecido τ .

El conjunto $ORCA_{i|j}^\tau$ puede ser construido geoméricamente de $VO_{i|j}^\tau$ (Fig. 2). Primero, los robot i y j adoptan velocidades de optimización $\mathbf{v}_i^{\text{opt}}$ y $\mathbf{v}_j^{\text{opt}}$ respectivamente, los cuales generalmente son establecidas a las velocidades actuales [12]. Luego, se obtiene el vector \mathbf{u} ,

$$\mathbf{u} = \left(\arg \min_{\mathbf{v} \in \partial VO_{i|j}^\tau} \left\| \mathbf{v} - (\mathbf{v}_i^{\text{opt}} - \mathbf{v}_j^{\text{opt}}) \right\| \right) - (\mathbf{v}_i^{\text{opt}} - \mathbf{v}_j^{\text{opt}}) \quad (3)$$

elcual es el mínimo cambio requerido de la velocidad relativa para evitar la colisión.

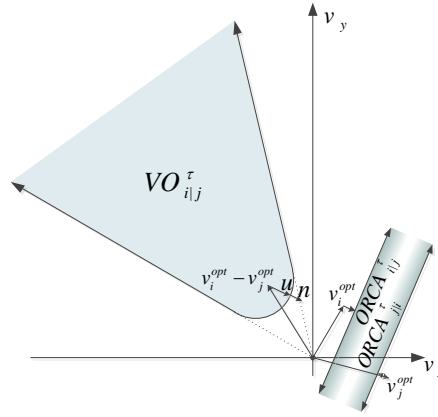


Figura 2: Los conjuntos $ORCA_{i|j}^\tau$ y $ORCA_{j|i}^\tau$

Luego se calcula el vector normal \mathbf{n} del contorno de $VO_{i|j}^\tau$ en el punto $(\mathbf{v}_i^{\text{opt}} - \mathbf{v}_j^{\text{opt}}) + \mathbf{u}$. Por lo tanto, el conjunto $ORCA_{i|j}^\tau$ de velocidades permitidas para el robot i es

$$ORCA_{i|j}^\tau = \left\{ \mathbf{v} \mid \left(\mathbf{v} - (\mathbf{v}_i^{\text{opt}} + c \cdot \mathbf{u}) \right) \cdot \mathbf{n} \geq 0 \right\} \quad (4)$$

donde c denota la responsabilidad de cada robot para evitar la colisión. En el caso de que $c = \frac{1}{2}$, ambos robots tienen la mitad de responsabilidad. Si $c = 1$ para el robot i y $c = 0$ para el robot j , luego el robot i es el único responsable y por lo tanto este tiene la obligación total de modificar su velocidad.

El conjunto de velocidades libres de colisión para el robot i con respecto a todos los otros robots es la intersección de $ORCA_{i|j}^\tau$ inducido por cada otro robot:

$$ORCA_i^\tau = D(0, v_i^{\text{max}}) \cap \left(\bigcap_{i \neq j} ORCA_{i|j}^\tau \right) \quad (5)$$

donde v_i^{max} es la velocidad maxima del robot i . Finalmente, la nueva velocidad \mathbf{v}_i^{new} que permite evadir la colisión es:

$$\mathbf{v}_i^{new} = \arg \min_{\mathbf{v} \in ORCA_i^f} \|\mathbf{v} - \mathbf{v}_i^{pref}\| \quad (6)$$

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Este trabajo está orientado a sistemas de teleoperación con n operadores, cada uno teleoperando uno de los n robots móviles no holonómicos, que se encuentran en un mismo ambiente, como muestra Fig. 3.

Se asume que los robots tienen forma de disco con radio r_i , se mueven en el plano R^2 con posición \mathbf{p}_i , velocidad lineal v_i y velocidad angular ω_i . Cada operador humano genera referencias de velocidad lineal v_i^{ref} y velocidad angular ω_i^{ref} utilizando un joystick. Un método de evasión de colisión obtiene una nueva referencia de velocidad lineal v_i^{new} que asegura movimientos libres de colisión, donde $|v_i^{new}| \leq |v_i^{ref}|$, $\text{sign}(v_i^{new}) = \text{sign}(v_i^{ref})$ y v_i^{new} este tan cerca como sea posible de v_i^{ref} . Luego, v_i^{new} y ω_i^{ref} son aplicadas al robot móvil. De esta manera, la velocidad angular es siempre controlada por el operador humano, obteniéndose un gran nivel de control del robot. Por otro lado, una fuerza es realimentada al operador, permitiendo informar cuanto es la diferencia que hay entre v_i^{ref} and v_i^{new} .

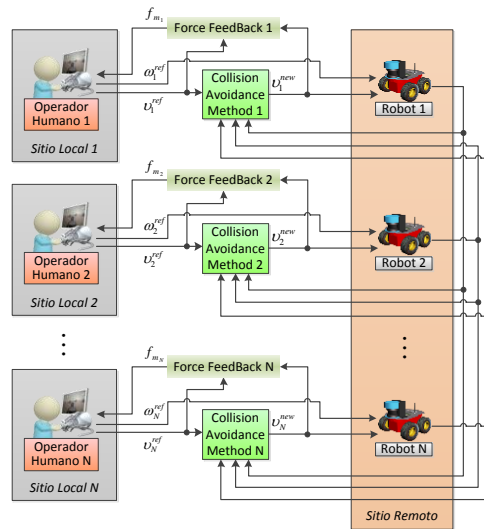


Figura 3: Sistema de teleoperación con N operadores y N robots.

4. EVASIÓN DE COLISIÓN SOBRE LA VELOCIDAD LINEAL (LVCA)

Considerando dos robots i y j , para evitar colisiones el vector de velocidad relativa $\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j$ debe estar fuera de VO_{ij}^τ . Por lo tanto, para cada robot i se obtiene un conjunto de velocidades lineales permitidas $LVCA_{ij}^\tau$ que aseguren que $\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j \notin VO_{ij}^\tau$. La intersección de todos los conjuntos $LVCA_{ij}^\tau$ para $j \neq i$, da como resultado el conjunto de velocidades lineales permitidas del robot i con respecto a todos los demás robots que garantiza movimientos libres de colisión.

$$LVCA_i^\tau = \bigcap_{j \neq i} LVCA_{ij}^\tau \quad (7)$$

Cuatro situaciones posibles entre pares de robots pueden ocurrir, las cuales son descritas y analizadas a continuación.

4.1. Situación *out-out*

En esta situación, ninguno de los dos robots se dirige hacia el otro, entonces $\mathbf{v}_i \notin VO_{ij}^\infty$ y $\mathbf{v}_j \notin VO_{ji}^\infty$. Uno de los robots puede considerar al otro como un obstáculo, y obtener un conjunto de velocidades lineales permitidas de acuerdo a la velocidad del otro robot. Es necesario definir un criterio para seleccionar el robot que será considerado como un obstáculo. Un posible criterio es seleccionar el robot que se mueve por la mano derecha. Otro criterio es elegir el robot que se mueve con mayor velocidad lineal. En este trabajo se opta por el segundo criterio.

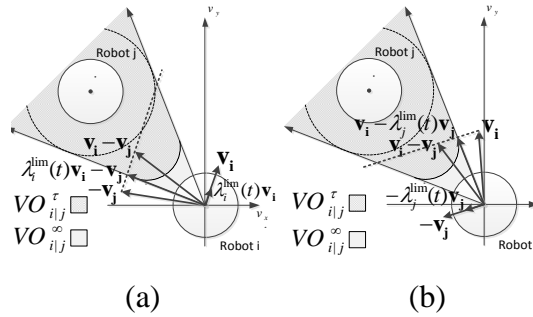


Figura 4: Situación *out-out*

Fig. 4 muestra dos situaciones *out-out*. En la primera situación (Fig. 4 (a)), el robot i tiene menor velocidad lineal que el robot j . En este caso, el robot j es considerado como un obstáculo y el nuevo vector de velocidad del robot i es establecido a $\lambda_i \mathbf{v}_i$, con $\lambda_i > 0$. El objetivo es obtener para λ una cota superior $\lambda_i^{lim}(t)$, donde $\lambda_i^{lim}(t) \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j$ pertenece al contorno del conjunto VO_{ij}^τ (∂VO_{ij}^τ), como se muestra en Fig. 4. Si $0 < \lambda_i < \lambda_i^{lim}(t)$ movimientos libres de colisión son garantizados ($\lambda \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j \notin VO_{ij}^\tau$).

El conjunto de velocidades lineales permitidas está dado por:

$$LVCA_{ij}^{\tau} = \{v | v \in (-v_i^{max}, \lambda_i^{lim}(t)v_i), v_i > 0\} \quad (8)$$

$$LVCA_{ij}^{\tau} = \{v | v \in (\lambda_i^{lim}(t)v_i, v_i^{max}), v_i < 0\} \quad (9)$$

donde v_i^{max} es la máxima velocidad lineal que puede tomar el robot i .

La cota superior $\lambda_i^{lim}(t)$ puede ser obtenida geoméricamente intersectando el segmento

$$\mathbf{v}_r = \lambda_i \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j \lambda_i > 0 \quad (10)$$

con el contorno del conjunto velocity obstacle (∂VO_{ij}^{τ}).

En la segunda sección (Fig. 4 (b)) el robot i tiene mayor velocidad lineal que el robot j , por lo tanto el robot i es considerado como un obstáculo. El conjunto de velocidades lineales permitidas para esta situación es,

$$LVCA_{ij}^{\tau} = \{v | v \in (-v_i^{max}, v_i^{max})\} \quad (11)$$

4.2. Situación *in-out*

En esta situación, solo el robot i se mueve hacia el robot j (Fig. 5), por lo tanto el robot i no puede ser considerado como un obstáculo, ya que si el robot j se detiene completamente, una colisión puede ocurrir. En este caso, solo el robot j puede ser considerado como un obstáculo. El conjunto de velocidades permitidas está dado por las Ec. (8) y(9).

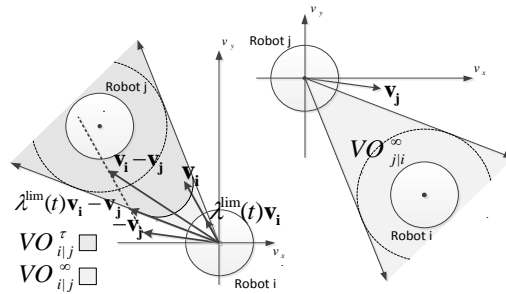


Figura 5: Situación *in-out*

El valor de $\lambda_i^{lim}(t)$ es obtenido de la misma manera que en la situación *out-out*.

4.3. Situación *out-in*

Esta situación es opuesta a la anterior, $\mathbf{v}_i \notin VO_{i|j}^\infty$ y $\mathbf{v}_j \in VO_{j|i}^\infty$. Solo el robot i puede ser considerado como un obstáculo. El conjunto de velocidades lineales permitidas está dado por la Ec. (11).

4.4. Situación *in-in*

Esta situación ocurre cuando ambos robots se dirigen hacia el otro, $\mathbf{v}_i \in VO_{i|j}^\infty$ y $\mathbf{v}_j \in VO_{j|i}^\infty$. En la Fig. 6 se observa dicha situación.

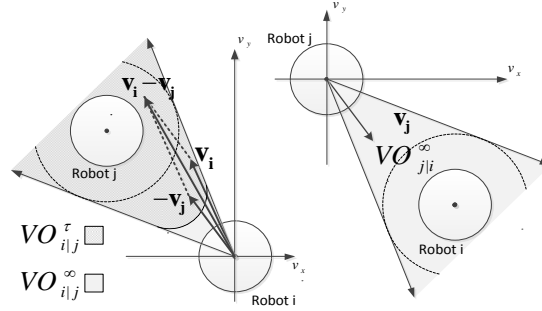


Figura 6: Situación *in-in*

En esta situación ninguno de los robots puede ser considerado como un obstáculo, y por lo tanto es necesario obtener las cotas superiores $\lambda_i^{lim}(t)$ y $\lambda_j^{lim}(t)$ para ambos robots que aseguren que $\lambda_i^{lim}(t)\mathbf{v}_i - \lambda_j^{lim}(t)\mathbf{v}_j \in \partial VO_{i|j}^\tau$. Para reducir el problema a un grado de libertad, con el fin de encontrar una única solución posible, se propone que $\lambda_i^{lim}(t) = \lambda_j^{lim}(t) = \lambda^{lim}(t)$, entonces, si $\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j \in VO_{i|j}^\tau$, se provocará una reducción en la velocidad lineal en la misma proporción en ambos robots. El nuevo problema se traduce en obtener $\lambda^{lim}(t) > 0$ que asegure que $\lambda^{lim}(t)(\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j) \in \partial VO_{i|j}^\tau$.

La cota superior $\lambda^{lim}(t)$ puede ser hallada geoméricamente intersectando el segmento:

$$\mathbf{v}_r(\lambda) = \lambda(\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j)\lambda > 0 \quad (12)$$

con el contorno del conjunto velocityobstacle ($\partial VO_{i|j}^\tau$).

4.5. Metodología de operación

Para el robot i , el método consiste en:

- Determinar el tipo de situación
- Obtener el conjunto $LVCA_{i|j}^\tau$ para cada robot $j \neq i$
- Obtener el conjunto $LVCA_i^\tau = \bigcap_{j \neq i} LVCA_{i|j}^\tau$
- Obtener la nueva referencia de velocidad lineal que garantice movimientos libres de colisión,

$$v_i^{new} = \arg \min_{v \in LVCA_i^r} |v - v_i^{ref}| \quad (13)$$

4.6. Realimentación de fuerza

El método de colisión obtiene v_i^{new} en función de v_i^{ref} de acuerdo a Eq. (20). La realimentación de fuerza es calculada como:

$$f_{m_i} = -k_{v_i}(v_i^{ref} - v_i^{new}) \quad (14)$$

Esta fuerza permite al operador conocer cuanta es la distancia que hay entre su comando de velocidad lineal y el valor de la nueva referencia de velocidad lineal que evita la colisión.

5. PRUEBAS CON EL OPERADOR HUMANO EN EL LAZO

En esta sección se prueba el método de evasión de colisión para el sistema de teleoperación propuesto. En un ambiente en común, cuatro robots no holonómicos se mueven con gran posibilidad de colisionar. Cada uno de esos robots es manejado por un operador humano. La tarea, para cada operador, consiste en mover el robot de una esquina a la opuesta. Los Robots 1,2,3, y 4 se mueven desde las posiciones [3.5, 3.5], [-3.5, 3.5], [-3.5, -3.5], y [3.5, -3.5] hasta las posiciones [-3.5, -3.5], [3.5, -3.5], [3.5, 3.5], y [-3.5, 3.5] respectivamente. En Fig. 8 se puede ver la interfaz gráfica en la cual se observa el espacio de trabajo, el dispositivo maestro (Novint Falcon 3D) utilizado por el operador para manejar un robot. El robot visualizado es del tipo skid-steer, sin embargo el modelo dinámico utilizado para llevar las pruebas es del tipo unicycle [8]. Se utiliza dos PID rápidos para el control de velocidad lineal y angular.



Figura 8: Operador manejando uno de los robots

Los parámetros usados para cada robot son:

- Masa: 30 Kg
- Momento de Inercia: 0.45 Kg m²
- Distancia entre el eje de rotación y el centro de masa: 0.05 m
- Ancho: 0.2 m
- Radio de las ruedas: 0.1 m
- PID para velocidad lineal: P=60 I=1 D=0
- PID para velocidad angular: P=10 I=4 D=0.3
- Máximo momento de fuerza de las ruedas: 0.55 Nm
- Tiempo a la colisión: $\tau = 5s$
- Ganancia de realimentación de fuerza: $k_{v_i} = 25$

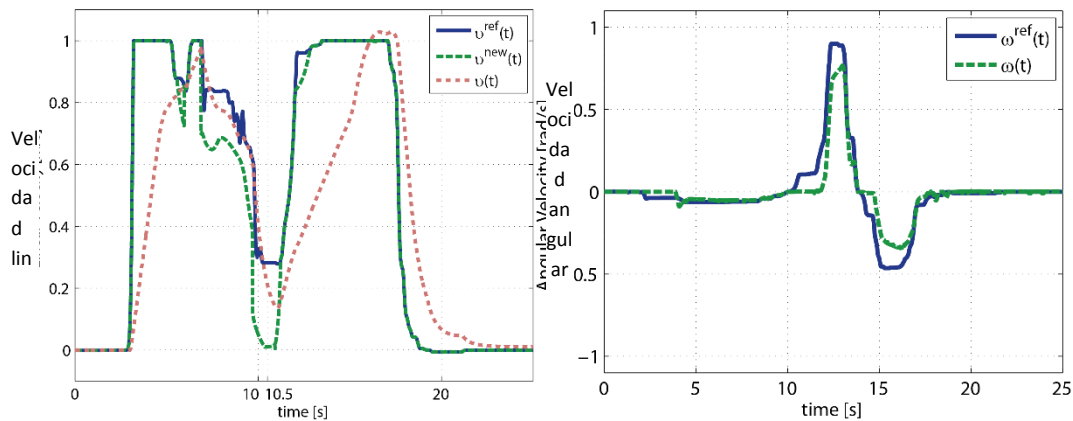


Figura 9: Referencias generadas por un operador, nueva referencia que evita la colisión, y velocidades actuales del robot móvil.

En la Fig. 9 se observa que v_i^{ref} se acerca a v_i^{new} , esto es debido a que la fuerza de realimentación reduce el error entre estas señales. En otras pruebas realizadas sin realimentación de fuerza, los operadores humanos en general mantienen su comando en el máximo valor, obteniéndose un gran error en las señales v_i^{ref} y v_i^{new} . Por lo tanto la fuerza de realimentación ayuda a corregir el mal comando generado por los operadores. Además, se observa que las velocidades del robot presentan un retardo con respecto a las referencias aplicadas a este, esto se debe a la dinámica del robot. El radio que cubre a cada uno de los robots es de 0.3m, sin embargo se considera un radio de 0.5m por seguridad. Mientras más lenta sea la dinámica del robot, mayor será el retardo en las velocidades, y por lo tanto se debe considerar un radio mayor. Por otro lado, las guías de diseño se cumplen en todo momento, por ejemplo $|v_i^{new}| \leq |v_i^{ref}|$. Los

comandos son aplicados después de tres segundos de que comienza la prueba. Este tiempo permite sincronizar el arranque de todos los robots.

Fig. 10 muestra la fuerza de realimentación aplicada al operador humano. Esta fuerza permite al operador sentir cuando y cuanto su comando es modificado para evitar la colisión.

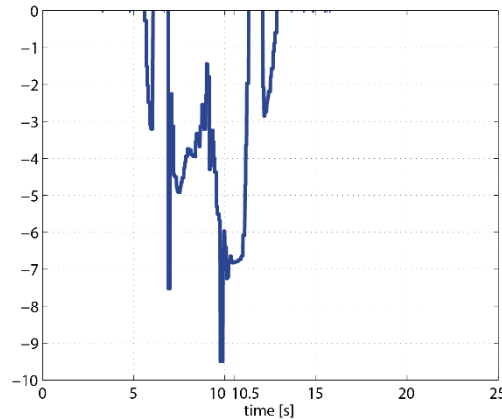


Figura 10: Realimentación de fuerza lineal en Newton

La Fig. 11 muestra las trayectorias realizadas por cada uno de los robots móviles. El color se degrada de acuerdo a la escala de tiempo, donde el color negro corresponde al tiempo inicial (0s) y el blanco al tiempo de finalización de la prueba.

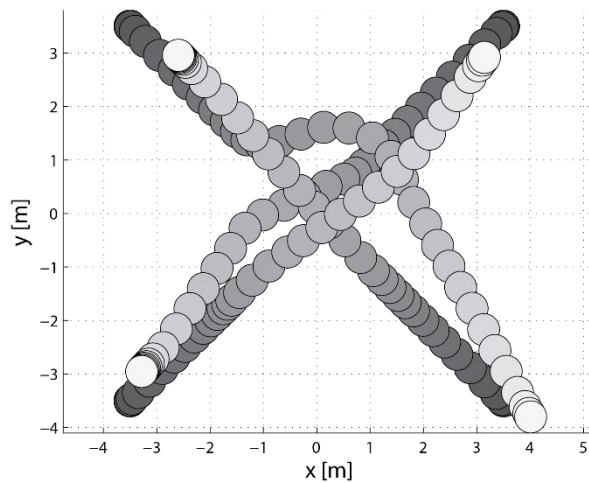


Figura 11: Trayectorias de los robots.

6. CONCLUSION

En este trabajo, se propuso un método de evasión de colisión para sistema de teleoperación con varios operadores, cada uno manejando un robot. Las pruebas fueron satisfactorias, porque cada

operador pudo realizar la tarea sin colisionar. Además, el operador pudo guiar el robot por el camino que quiso en todo momento, obteniéndose gran nivel de transparencia.

La fuerza de realimentación permitió a cada operador sentir cuando y cuanto el método de evasión de colisión modificaba su comando de velocidad lineal.

Por otro lado, se puede destacar que como solo se modifica la referencia de velocidad lineal, el método es aplicable a cualquier tipo de robot.

REFERENCIAS

- [1] Chong, Nak Young, et al. "Multioperator teleoperation of multirobot systems with time delay: Part I-aids for collision-free control." *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 11.3 (2002): 277-291.
- [2] Chong, Nak Young, et al. "Multioperator teleoperation of multirobot systems with time delay: Part II-testbed description." *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 11.3 (2002): 292-303.
- [3] Fiorini, Paolo, and ZviShiller. "Motion planning in dynamic environments using velocity obstacles." *The International Journal of Robotics Research* 17.7 (1998): 760-772.
- [4] Fong, Terrence, Charles Thorpe, and Charles Baur. "Multi-robot remote driving with collaborative control." *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* 50.4 (2003): 699-704.
- [5] J. Alonso-Mora, A. Breitenmoser, M. Rufli, P.eardsley, R. Sieg-wart, "Optimal Reciprocal Collision Avoidance for Multiple Non-Holonomic Robots", in *Proc. Int. Symp. on Distributed Autonomous Robotics Systems*, 2010
- [6] Lee, Dongjun, and Mark W. Spong. "Bilateral teleoperation of multiple cooperative robots over delayed communication networks: theory." *Robotics and Automation, 2005.ICRA 2005.Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on.IEEE, 2005.*
- [7] Lee, Dongjun, Oscar Martinez-Palafox, and Mark W. Spong. "Bilateral teleoperation of multiple cooperative robots over delayed communication networks: Application." *Robotics and Automation, 2005.ICRA 2005.Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on.IEEE, 2005.*
- [8]Lee, Dongjun, Oscar Martinez-Palafox, and Mark W. Spong. "Bilateral teleoperation of a wheeled mobile robot over delayed communication network." *Robotics and Automation, 2006.ICRA 2006.Proceedings 2006 IEEE International Conference on.IEEE, 2006.*
- [9] Lichiardopol, S. "A survey on teleoperation." Dept. Mech. Eng., Dynamics Control Group, TechnischeUniversiteit Eindhoven, Eindhoven, Dept., Mech. Eng., Dyn. Control Group, The Netherlands, Tech. Rep. DCT2007 155 (2007).
- [10] Passenberg, Carolina, Angelika Peer, and Martin Buss. "Model-mediated teleoperation for multi-operator multi-robot systems." *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference on.IEEE, 2010.*
- [11] Sirouspour, Shahin, and PeymanSetoodeh. "Multi-operator/multi-robot teleoperation: an adaptive nonlinear control approach." *Intelligent Robots and Systems, 2005.(IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on.IEEE, 2005.*
- [12] van den Berg, J., Guy, S. J., Lin, M. C., Manocha, D.: *Reciprocal n-body Collision Avoidance*. In: *Proc. Int. Symp. Robot.Res.*, (2009).
- [13] Yoon, Woo-Keun, et al. "Model-based space robot teleoperation of ETS-VII manipulator." *Robotics and Automation, IEEE Transactions on* 20.3 (2004): 602-612.

[14] Virtual Reality Toolbox For Use with MATLAB and Simulink - User's Guide, The Mathworks, (http://www.mathworks.in/help/releases/R13sp2/pdf_doc/vr/vr.pdf)

[15] V-Realm Builder - User's Guide and Reference
(http://metalab.uniten.edu.my/~farrukh/vrml/user_guide.pdf)