

Robust human-robot collaboration for polishing  
tasks in the automotive industry

La presente tesis aborda la Interacción Humano-Robot para tareas industriales de tratamiento superficial, con el objetivo de obtener una verdadera sinergia entre el operador humano y el sistema robotizado, así como un funcionamiento robusto. En concreto, la tesis establece las bases sobre las cuales un robot con asistencia por teleoperación o autónomamente interactúa con los humanos y con los otros robots en la zona de trabajo. Las propuestas se validan mediante experimentación real utilizando hasta dos robots manipuladores 6R y 7R respectivamente.

Las principales contribuciones son:

- **Asistencia robótica para el lijado industrial con aproximación suave a la superficie y restricciones de límite:** en la aplicación desarrollada en este capítulo el operador humano proporciona flexibilidad, guiando la herramienta del sistema robotizado para tratar regiones arbitrarias de la superficie de la pieza de trabajo; mientras que el sistema robotizado proporciona fuerza, precisión y seguridad, no solo sosteniendo la herramienta y manteniendo la correcta orientación de la misma, sino también garantizando una aproximación suave a la superficie y confinando la herramienta dentro del área permitida cercana a la pieza de trabajo. Además, cuando el usuario no está guiando la herramienta de trabajo, el modo automático se activa, de manera que el robot trata áreas pre-establecidas de la superficie.
- **Control de robots bimanuales usando teleoperación asistida para tareas de tratamiento superficial:** este capítulo presenta una arquitectura de control para un sistema robótico bimanual, esto es, dos brazos robot desempeñando una tarea cooperativamente, con el objetivo de realizar un tratamiento superficial en el cual el usuario humano teleopera parcialmente ambos brazos robot. En particular, un brazo robot, llamado Robot de la Pieza de Trabajo (RPT), sostiene la pieza de trabajo, mientras que el otro brazo robot, llamado Robot de Tratamiento Superficial (RTS), tiene la herramienta de tratamiento superficial sujeta a su efector final. De esta manera, algunas coordenadas de los robots son teleoperadas por el usuario humano, mientras que las coordenadas restantes son controladas automáticamente. En particular, el usuario teleopera las seis coordenadas del RPT para poner la pieza de trabajo en una posición y orientación adecuadas para la tarea. Además, el teleoperador comanda dos coordenadas lineales del RTS para mover la herramienta sobre la superficie de la pieza de trabajo con el objetivo de realizar el tratamiento superficial. Para asistir al usuario humano durante la teleoperación, se definen una serie de

restricciones para ambos brazos robot, con el objetivo de evitar exceder el espacio de trabajo permitido. Adicionalmente, un sensor de Fuerza/Par (F/P) fijado al efector final del RTS se usa para adaptar automáticamente la herramienta del RTS de modo que se alcance la presión deseada entre la herramienta y la pieza de trabajo, así como para mantener la orientación ortogonal de la herramienta sobre la superficie de la pieza. Esta aproximación es validada mediante experimentación real con un brazo robot industrial 6R y un cobot 7R.

- **Interfaz basada en Realidad Aumentada para la teleoperación de robots bimanuales:** Este capítulo presenta una interfaz original basada en realidad aumentada para teleoperar robots bimanuales, con el objetivo de superar los problemas de las interfaces convencionales basadas en el uso de PC. La interfaz propuesta es más natural para el usuario, permitiéndole ver la información relevante en forma de hologramas a la vez que ve en todo momento los elementos reales involucrados en la tarea: robots, pieza de trabajo, herramienta, etc. Adicionalmente, este trabajo propone y sigue una nueva metodología para diseñar y desarrollar interfaces de RA para sistemas robóticos bimanuales. La efectividad y aplicabilidad de la interfaz de RA propuesta se muestran mediante la experimentación real con una aplicación de robótica bimanual avanzada que consta de dos brazos robot: un cobot 7R y un manipulador industrial 6R.

La aplicación de técnicas de Control en Modo Deslizante (SMC, por sus siglas en inglés) tanto convencional como no convencional y una arquitectura de control basada en prioridades son las herramientas clave para el desarrollo de estas contribuciones.