



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

Teleoperación: técnicas, aplicaciones, entorno sensorial y teleoperación inteligente

Emmanuel Nuño Ortega, Luis Basañez Villaluenga

IOC-DT-P-2004-05
Abril 2004



Barcelona, España

28 de Abril de 2004



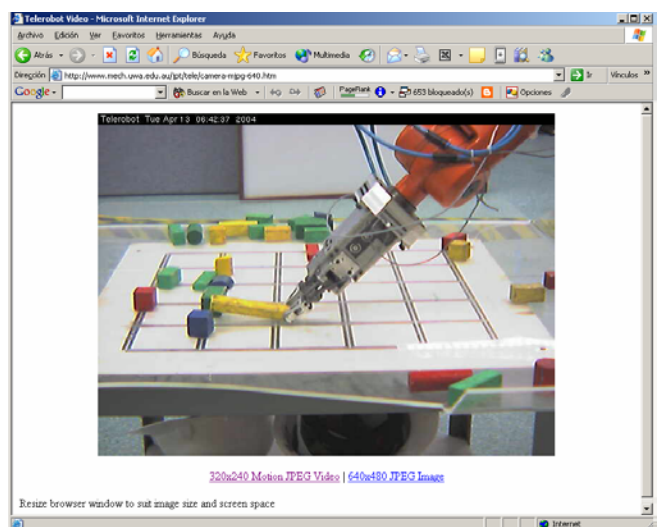
Reporte de Trabajo de Investigación Tutelado:

Teleoperación de Robots: Técnicas, Aplicaciones, Entorno Sensorial y Teleoperación Inteligente¹

Emmanuel Nuño Ortega
DOCTORANDO



Tutor: Dr. Luis Basañez Villaluenga



¹ Trabajo Financiado por CONACYT, Reg. 169003.

Índice:

1- Objetivo	4
2- Introducción	4
3- Teleoperación	5
3.1- Definiciones	5
3.2- Antecedentes	7
3.3- Aplicaciones de teleoperación	9
3.3.1 - Aplicaciones en el espacio	9
3.3.2 - Aplicaciones en la industria nuclear	10
3.3.3 - Aplicaciones submarinas	10
3.3.4 - Aplicaciones Militares	12
3.3.5 - Aplicaciones médicas	14
3.3.6 - Otras aplicaciones	15
4- Métodos de control en teleopeación	15
4.1- Control bilateral	16
4.2- Control supervisado y coordinado	17
5- Interfaces	19
5.1 -Directas	19
5.2 -Multimodal o multisensorial	20
5.3 -Interfases para control supervisado	21
7- Conclusiones	23
8- Anexo 1 (Estado del Arte)	24
9- Anexo 2 (Remote Labs on the Internet around the World)	30
10- Referencias	33

Índice de figuras:

Figura 1	-Elementos básicos de un sistema de teleoperación	6
Figura 2	-Primer telemanipulador maestro-esclavo mecánico	7
Figura 3	-Primer telemanipulador maestro-esclavo eléctrico	7
Figura 4	-Evolución de las técnicas de teleoperación	8
Figura 5	-Sojourner, NASA, JPL	9
Figura 6	-Sistema de teleoperación espacial	10
Figura 7	-Sistema de exploración submarina VICTOR	11
Figura 8	-Arquitectura del sistema de comunicaciones de VICTOR	11
Figura 9	-US Air Force Predator	12
Figura 10	-UAV	12
Figura 11	-SARGE vehiculo tipo UGV	13
Figura 12	-Robot policía	13
Figura 13	-Sistema aplicado en Ghodoussi, 02], [Butner, 03]	14
Figura 14	-Sistema Quirúrgico ZEUZ	14
Figura 15	-Control maestro-esclavo	16
Figura 16	-Esquema de control M-E	16
Figura 17	-Teleoperación de un robot móvil usando control coordinado [Diolaiti, 02]	17
Figura 18	-Ejemplo de un sistema con control supervisado [Fong, 01]	18
Figura 19	- Diferencias esquemáticas entre control de lazo cerrado, control coordinado y supervisado. (Izq. a der.) [Schilling, 02]	18
Figura 20	-Ejemplo de interfase directa	19
Figura 21	-Telegarden, ejemplo de interfase directa	20
Figura 22	-Ejemplo de interfase multisensorial	20
Figura 23	-Interfase multimodal	21
Figura 24	-Dispositivos hápticos	21
Figura 25	-Ejemplo de un sistema con interfase háptica	22
Figura 26	-Interfase creada para el sistema usado en [McKee, 01]	22
Figura 27	-Sistema usado en [McKee, 01]	22

1- Objetivo

Conocer el estado del arte de la teleoperación, realizar una clasificación de las diferentes metodologías que existen en la actualidad en este ámbito del conocimiento.

2- Introducción²

Desde tiempos remotos, el hombre ha venido utilizando distintas herramientas para poder aumentar el alcance de su capacidad de manipulación. En un principio, no se trataba más que de palos utilizados para hacer caer la fruta madura de un árbol. En la actualidad existen dispositivos más complejos, como por ejemplo pértigas que, accionando un enganche o pinza a distancia, permiten alcanzar objetos que se encuentran en estanterías o lugares de almacenamiento de difícil acceso.

Pero no sólo se han venido utilizado herramientas para aumentar la capacidad de manipulación en cuanto a distancia se refiere. El uso de otro tipo de herramientas, como las pinzas de un herrero, ha sido frecuente desde hace mucho para transportar o manipular piezas candentes o peligrosas para el ser humano, como puede ser el caso de los materiales radiactivos.

Estos desarrollos desembocaron finalmente en lo que se conoce como sistemas de teleoperación maestro-esclavo, en los que un manipulador denominado esclavo reproduce fielmente los movimientos de un dispositivo o manipulador maestro, controlado a su vez manualmente por un operador humano. Se puede decir que es entonces cuando la teleoperación cobra importancia como tecnología.

Desde que surgen estos sistemas de Teleoperación hasta nuestros días podemos darnos cuenta que ha existido un gran avance, cada vez el área de acción de la Teleoperación es mas grande y va adquiriendo mayor importancia, las aplicaciones en la actualidad pueden ir desde la diversión y el entretenimiento hasta el rescate de personas en peligro.

En los sistemas de teleoperación de robots la intervención del operador humano muchas veces es imprescindible, especialmente en entornos no estructurados y dinámicos en los cuales los problemas de percepción y planificación automática son muy complejos. En muchos casos, el operador esta físicamente separado del robot, existiendo un sistema de telecomunicaciones entre los dispositivos que utiliza directamente el operador y el sistema de control local del robot.

La intervención del operador puede producirse en muchas formas diferentes, desde la teleoperación directa de los actuadores de las articulaciones, hasta la simple especificación de movimientos, o incluso de tareas, que se realizan de manera automática en el entorno remoto.

Un importante avance en las tecnologías intrínsecas a la teleoperación como los sistemas de telecomunicaciones, los robots utilizados, los dispositivos hápticos y la realidad virtual hacen un notable avance en las aplicaciones en cuanto a teleoperación se refiere, comenzamos a entrar en los ámbitos de la telecirugía, en los que la precisión es

² Referencias de este apartado. [Benali, 01], [Brady, 01], [Vertut, 85b], [Sánchez, 00], [Schilling, 97], [Ollero, 01]

muy importante, por otro lado tenemos la teleoperación de robots en el espacio y en misiones de rescate entre otras.

En este trabajo centraremos la atención en los sistemas robóticos teleoperados, especialmente analizaremos los sistemas teleoperados desde Internet, veremos una clasificación de las metodologías de teleoperación, los diferentes sistemas de control y daremos una visión del estado del arte en este ámbito del conocimiento.

3- Teleoperación

3.1- Definiciones³

Antes de entrar en el análisis de las tecnologías conviene especificar algunos conceptos de interés para nuestro trabajo.

Teleoperación: conjunto de tecnologías que comprenden la operación o gobierno a distancia de un dispositivo por un ser humano. Por tanto, teleoperar es la acción que realiza un ser humano de operar o gobernar a distancia un dispositivo; mientras que un sistema de teleoperación será aquel que permita teleoperar un dispositivo, que se denominará dispositivo teleoperado.

Telem manipulación: conjunto de tecnologías que comprenden la operación o gobierno a distancia por un ser humano de un manipulador. Por tanto, telem manipular es la acción que realiza un ser humano de operar o gobernar a distancia un manipulador, mientras que un sistema de telem manipulación será aquel que permita teleoperar un manipulador, que se denominará manipulador teleoperado.

Telerrobótica: conjunto de tecnologías que comprenden la monitorización y reprogramación a distancia de un robot por un ser humano. Se hablará entonces de la teleoperación de un robot, que se denominará telerrobot o robot teleoperado.

Telepresencia: situación o circunstancia que se da cuando un ser humano tiene la sensación de encontrarse físicamente en el lugar remoto. La telepresencia se consigue realimentando coherentemente al ser humano suficiente cantidad de información sobre el entorno remoto.

Realidad virtual: situación o circunstancia que se da cuando un ser humano tiene la sensación de encontrarse en un lugar distinto de donde físicamente está gracias a la información generada exclusivamente por un computador. El entorno que se genera, y en el que el operador se encuentra inmerso se denomina entorno virtual, y la situación de estar en él, también se conoce como presencia virtual.

Realidad aumentada: situación o circunstancia que percibe un operador cuando la información sensorial que le es realimentada de un entorno es modificada previamente por un computador con el objetivo de añadirle nueva información creada artificialmente, y que es no accesible directamente de la realidad por los sentidos del operador, aunque éste se encuentre en la zona remota.

³ Referencias. [Aracil, 02],[Vertut, 85b],[Ollero, 01]

Realimentació tàctil: realimentación de la sensació de contacte aplicada a la pell. Es sensada per los receptors col·locats cerca de la pell. Receptors que poseen un gran anch de banda (50 350 Hz) y que permeten detectar el primer contacte con el entorn, conocer la geometria de la superfície, su rugosidad y su temperatura.

Realimentación cinestésica o de fuerzas: realimentación de la sensación de una resistencia al avance o un peso que hace referencia a la excitación de los sensores colocados en los músculos y tendones, unidos a huesos y articulaciones, y que transmiten a la espina dorsal y al cerebro las tensiones y las fuerzas que se producen durante el movimiento (inerciales o de contacto). Se trata de receptores con poco ancho de banda y que proporcionan información sobre la fuerza total de contacto, así como el peso y deformabilidad de un objeto.

Realimentación háptica: realimentación de la sensación de contacto, ya sea de tipo táctil o de fuerzas. *Hapteshai* es un término griego clásico que significa tocar.

Un sistema de teleoperación consta de los siguientes elementos⁴:

- *Operador o teleoperador:* es un ser humano que realiza a distancia el control de la operación. Su acción puede ir desde un control continuo hasta una intervención intermitente, con la que únicamente se ocupa de monitorizar y de indicar objetivos y planes cada cierto tiempo.
- *Dispositivo teleoperado:* podrá ser un manipulador, un robot, un vehiculo o dispositivo similar. Es la maquina que trabaja en la zona remota y que esta siendo controlada por el operador.
- *Interfaz:* conjunto de dispositivos que permiten la interacción del operador con el sistema de teleoperación. Se considera al manipulador maestro como parte del interfaz, así como a los monitores de vídeo, o cualquier otro dispositivo que permita al operador mandar información al sistema y recibir información del mismo.
- *Control y canales comunicación:* conjunto de dispositivos que modulan, transmiten y adaptan el conjunto de señales que se transmiten entre la zona remota y la local. Generalmente se contará con uno o varias unidades de procesamiento.
- *Sensores:* conjunto de dispositivos que recogen la información, tanto de la zona local como de la zona remota, para ser utilizada por el interfaz y el control.

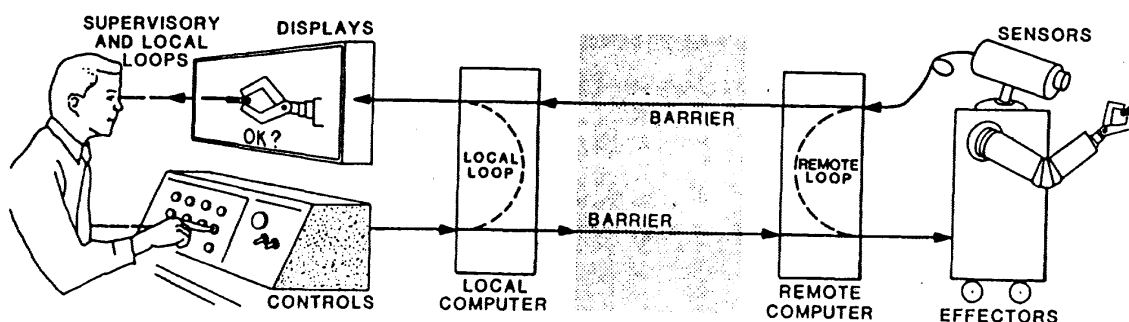


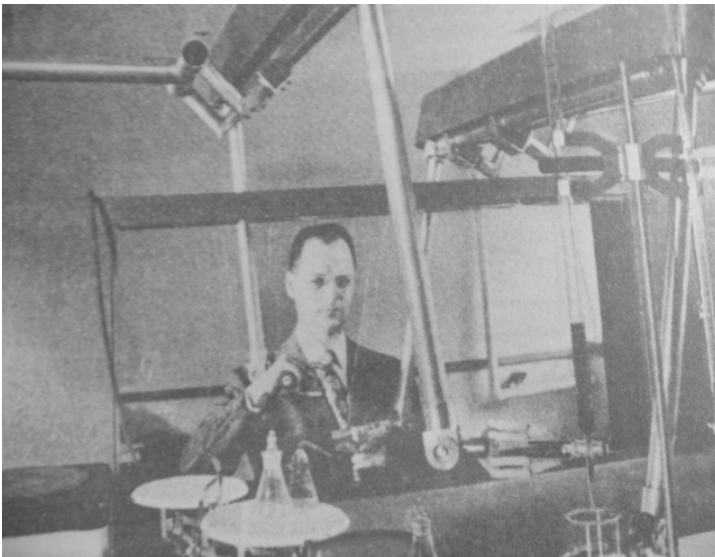
Figura 1 -Elementos básicos de un sistema de teleoperación

⁴ Basado en [Alencastre, 03]

3.2- Antecedentes

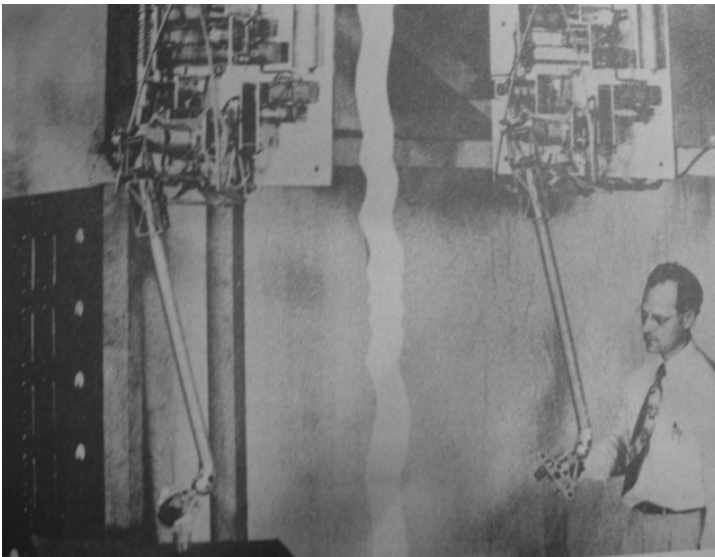
Debemos de hacer notar que las investigaciones entorno a la telemanipulación de objetos nacieron en los laboratorios de la industria nuclear, debido al alto riesgo que presenta estar en contacto directo con los elementos radioactivos.

En 1947 comenzaron las primeras investigaciones, lideradas por Raymond Goertz del Argonne National Laboratory en Estados Unidos, encaminadas al desarrollo de algún tipo de manipulador de fácil manejo a distancia mediante el uso por parte del operador de otro manipulador equivalente. El primer fruto se obtuvo en 1948 con el desarrollo del primer manipulador teleoperado mecánico, denominado M1, antecesor de toda la familia de sistemas maestro-esclavo de telemanipulación existentes actualmente.



El mecanismo de este sistema permitía que la pinza situada en el extremo del manipulador esclavo reprodujera de forma fiel los movimientos hechos por la mano del operador al extremo del manipulador maestro. Ambos manipuladores eran prácticamente iguales, y los movimientos entre ambos se reproducían eje a eje, de tal manera que el extremo de ambos describiese la misma trayectoria.

Figura 2 -Primer telemanipulador maestro-esclavo mecánico⁵



A principios de los años 50 se comenzaron los desarrollos encaminados a motorizar ambos manipuladores, maestro y esclavo, de una forma adecuada. Fue en 1954 cuando Goertz presentó el primer manipulador maestro-esclavo con accionamiento eléctrico y servocontrol en ambos manipuladores llamado E1.

Figura 3 -Primer telemanipulador maestro-esclavo eléctrico⁶.

⁵ [Vertut, 85b]; Fotografía correspondiente a Raymond Goertz manipulando químicos a través de un cristal de protección, hecha en 1948 en el Laboratorio Nacional de Argonne USA.

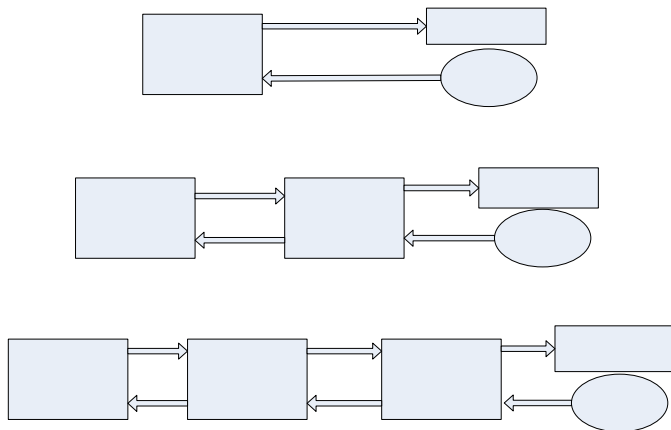
⁶ [Vertut, 85b]; Fotografía correspondiente a Raymond Goertz haciendo tareas de aprehensión de objetos, 1954, Laboratorio Nacional de Argonne USA.

En los años sesenta se extendieron las investigaciones hasta el campo de las aplicaciones submarinas, siendo los sistemas cada vez más sofisticados, especialmente por la inclusión de cámaras y demás dispositivos para aumentar la telepresencia del operador.

A finales de los años sesenta y principios de los setenta, la tecnología de la teleoperación alcanzó su mayoría de edad con su utilización en aplicaciones espaciales. Aparecieron nuevos retos y problemas [Sheridan, 93], siendo de especial relevancia la existencia de retrasos temporales en la comunicación entre la zona local y la zona remota.

En paralelo con la evolución histórica de las técnicas de teleoperación ha habido una evolución tecnológica motivada por los desarrollos de control, la informática y la robótica.

Ha habido, por una parte una evolución en los sistemas de comunicación, pasando de los sistemas mecánicos a los eléctricos, fibra óptica, radio e Internet, medio que suprime prácticamente las limitaciones de distancia.



La incorporación de los desarrollos de la robótica y la tecnología multimedia han permitido incrementar las capacidades del sistema remoto, especialmente en lo que se refiere a su autonomía, y del puesto local de control, mejorando fundamentalmente las prestaciones de la interfaz hombre máquina, éstas evoluciones se pueden observar en este gráfico.

Figura 4 -Evolución de las técnicas de teleoperación⁷.

Como apoyo en lo que a historia de la teleoperación se refiere en [Vertut, 85] y [Vertut, 85b] viene el tema muy bien desarrollado. En el apéndice encontraremos una tabla descriptiva de las nuevas tecnologías en teleoperación.

⁷ [Aracil, 02]

3.3- Aplicaciones de teleoperación

Desde los primeros desarrollos de la teleoperación, la industria nuclear ha sido el principal consumidor de sistemas de teleoperación. Sin embargo, con el paso de los años se fue viendo su aplicabilidad a otros sectores, especialmente relacionados con las industrias de servicio. Aquí se enumeran los campos de aplicación más significantes de la Teleoperación.

3.3.1 -Aplicaciones en el Espacio⁸

Las aplicaciones en el espacio tienen buenas razones para usar la teleoperación como técnica de manipulación remota, algunas de estas razones son [Sheridan, 93];

- Seguridad; todas las operaciones espaciales son de alto riesgo, que pueden ser la causa de muerte para los astronautas.
- Costo; el equipo necesario para los pasajeros humanos es mucho mas caro y pesado que un sistema de teleoperación.
- Tiempo; hay muchas misiones que duran muchos años para lograr sus objetivos, que hace que estas misiones sean sin tripulación humana.

Además este tipo de aplicaciones tienen el reto añadido de tener que trabajar con retardos temporales en las comunicaciones, lo que las hace especialmente problemáticas. Entre sus principales aplicaciones están: experimentación y exploración planetaria (normalmente con vehículos tipo rover), mantenimiento y operación de satélites, construcción y mantenimiento de estaciones espaciales.

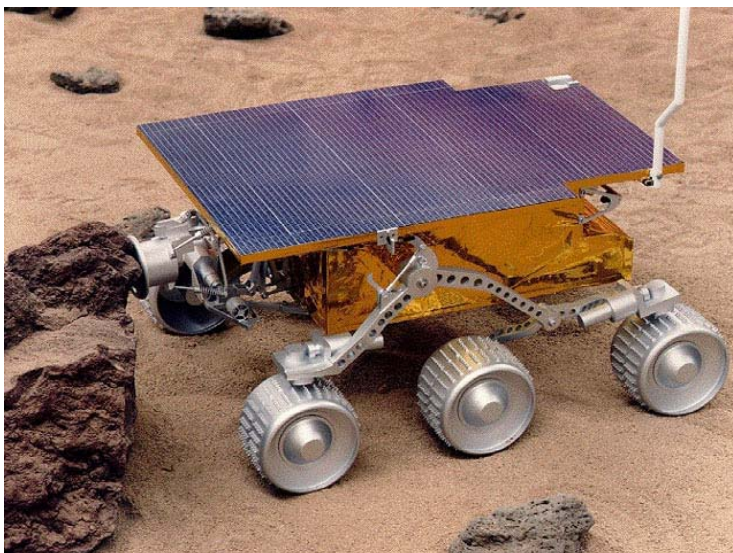


Figura 5 -Sojourner, NASA, JPL⁹

⁸ Trabajos en el area de teleoperación espacial son; [Hirzinger, 97], [Khosla, 93], [Kimura, 97], [Mahtani, 03], [Penin, 00], [Rovetta, 90], [Schilling, 97], [Sheridan, 93], [Tsumaki, 00]

⁹ NASA (National Agency of Space Administrator) www.nasa.gov , JPL (Jet Propulsion Lab) www.jpl.nasa.gov

El primer vehículo teleoperado en la luna fue Lunakhod 1 (Rusia), en los principios de los 70's este vehículo recorrió 10 kilómetros en 11 días de misión, el problema con este tipo de aplicación es que los sistemas de teleoperación experimentan grandes retardos en sus sistemas de telecomunicaciones, aunque de aquí a la luna el retardo sea de solo algunos segundos los sistemas de control en lazo cerrado se vuelven inestables, en este caso se usaba método "mueva y espera", Un retardo mucho mayor lo sufrió el sistema Sojourner de la NASA, el retardo era de 10 a 20 minutos, y este sistema fue teleoperado con éxito durante 7 días marcianos.

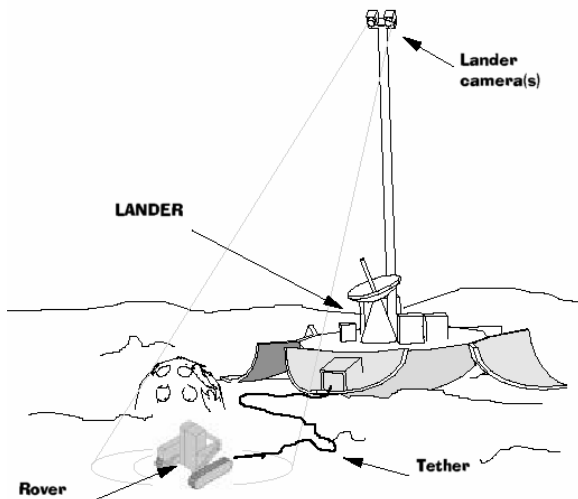


Figura 6 -Sistema de teleoperación espacial¹⁰

3.3.2 -Aplicaciones en la industria nuclear

Son con mucho las más numerosas. La utilidad del sistema de teleoperación radica en poder tratar y manipular sustancias radiactivas, así como moverse por entornos contaminados, sin peligro para el ser humano. Entre sus principales aplicaciones están: manipulación y experimentos con sustancias radioactivas, operación y mantenimiento de instalaciones (reactores, tuberías, instalaciones de elaboración de combustible nuclear, etc.), desmantelamiento y descontaminación de instalaciones, y finalmente actuación en desastres nucleares.

3.3.3 -Aplicaciones submarinas

En este caso la mayoría de los manipuladores van sobre un vehículo submarino, denominado R.O.V. (Remote Operated Vehicle), que también va teleoperado. La utilidad de estos sistemas radica en poder acceder a ciertas zonas y profundidades donde le es imposible o peligroso a un submarinista. Entre sus principales aplicaciones están: inspección, mantenimiento y construcción de instalaciones submarinas, minería submarina, e inspección de suelo marino.

¹⁰ [Schilling, 02]

La transmisión de datos puede ser acústica como es el caso de [Sayers, 98], en la que la mayor dificultad enfrentada como en el caso de la teleoperación espacial es el reatado, y el ancho de banda de la transmisión de datos que es de apenas 10 Kbps. También la transmisión de datos puede ser por medio de un cable como es el caso de VICTOR sistema francés de exploración submarina, pero esto dificulta mas las cosas porque el peso del cable afecta la cinemática del Vehículo teleoperado.

Un ejemplo de cuan avanzados están estos robots es el sistema que lo componen un manipulador robótico (6 dof) y el vehiculo JASON, este sistema de teleoperación puede estar sumergido hasta 500 Km. bajo el mar.



Figura 7 -Sistema de exploración submarina VICTOR¹¹

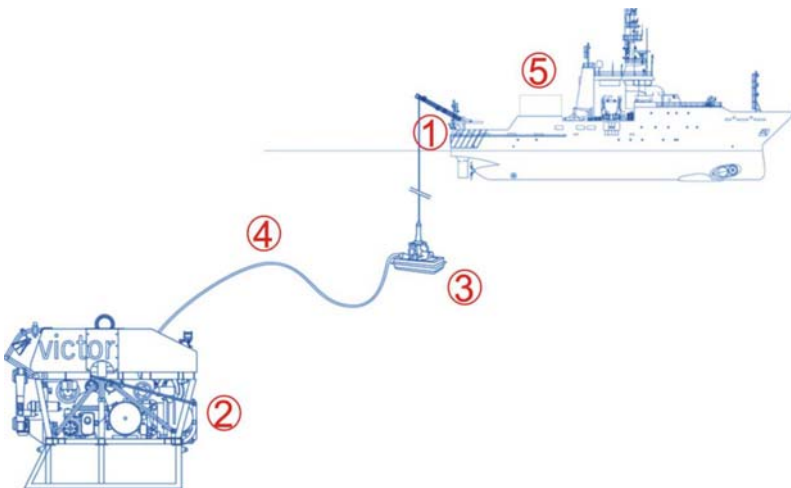


Figura 8 -Arquitectura del sistema de comunicaciones de VICTOR¹²

¹¹ http://www.ifremer.fr/flotte/systemes_sm/engins/victor.htm última visita dia 20/03/04

¹² http://www.ifremer.fr/flotte/systemes_sm/engins/victor.htm#systeme visitada por última vez el 20/03/04

3.3.4 - Aplicaciones Militares¹³

Esta área provee muchas posibilidades para los sistemas teleoperados, la mayoría de las tecnologías de teleoperación móvil fueron desarrolladas para aplicaciones militares, las tecnologías aquí usadas van desde sistemas de monitorización remota [Fogle, 92], hasta el uso de UAV (Unmanned Air Vehicles) [Alcázar, 03]. Un ejemplo de este tipo de vehículos es el US Air Force Predator.



Figura 9 -US Air Force Predator¹⁴



Figura 10 -UAV¹⁵

Este tipo de vehículos tienen un campo de aplicación muy grande, vigilancia, adquisición de objetivos militares, detección de enemigos, reconocimiento, entre otras, los primeros sistemas de este tipo tenían un lazo cerrado de control, el operador cerraba el lazo, hoy en día gracias a las nuevas tecnologías como el GPS (Global Positioning System) y el control supervisado los vehículos se vuelven cada vez más inteligentes.

Otra área de vehículos de este tipo son los terrestres llamados UGV (Unmanned Ground Vehicle), dotados con tecnologías diferentes, como estereovisión así mismo los sistemas de comunicación son muy amplios y rápidos gracias al uso de radio frecuencias,

¹³ Debido a que la mayoría de proyectos de este tipo son secretos se hace mención solo de algunas tecnologías como [Birk, 02], [Fong, 01], [Fong, 03].

¹⁴ <http://www.airforce-technology.com/>, 10/03/04

¹⁵ EADS (European Aeronautic Defense and Space Company)

un ejemplo de vehículos de este tipo es el SARGE (Surveillance And Reconnaissance Ground Equipment) creado por Sandia National Laboratories.



Figura 11 -SARGE¹⁶ vehículo tipo UGV.



Debido al incremento de criminalidad y terrorismo se han creado un cierto tipo de sistemas teleoperados llamados TERROBOTS, que son usados para asegurar bombas, vigilancia, asaltos policíacos entre otros, estos vehículos son teleroperados con un lazo de control cerrado desde una conexión por cable o por radio frecuencia, el equipo del que disponen generalmente son un sistema de visión, cámaras infrarrojas, manipuladores robóticos, armas letales y no letales.

Figura 12 -Robot policía¹⁶

¹⁶ <http://www.sandia.gov/media/periodic/STech/ST2000v2.pdf>, 04/02/04

3.3.5 - Aplicaciones médicas¹⁷

Recientemente se ha fortalecido de forma importante la aplicación de las tecnologías de la teleoperación al sector médico [Dario, 02]. Desde los primeros desarrollos de prótesis o dispositivos de asistencia a discapacitados hasta la más novedosa de la telecirugía, o el telediagnóstico, aunque éste no pertenezca estrictamente al sector de la teleoperación.

Existe mucha literatura en este ámbito entre ellas encontramos un caso particular que llama mucho la atención, la primer cirugía asistida por teleoperación [Ghodoussi, 02], [Butner, 03], el escenario es el siguiente; el sistema robótico usado es ZEUS¹⁸, la parte maestra, esto es del cirujano, estaba situada en la ciudad de NY, en Manhattan, mientras que la parte del esclavo o del paciente estaba en Satrasburgo, Francia, la cirugía fue una Colecistomía Laparoscópica, la operación Lindbergh (apellido del paciente) fue todo un éxito, las telecomunicaciones fueron concedidas por un canal privado de Internet, usando el protocolo UDP/IP, con un retardo promedio de 224 ms.

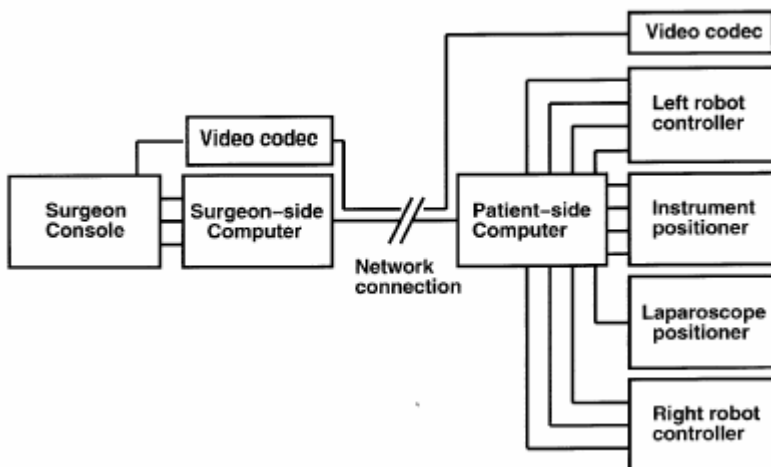


Figura 13 -Sistema aplicado en Ghodoussi, 02], [Butner, 03]



Figura 14 -Sistema Quirúrgico ZEUS¹⁸

¹⁷ Referencias [Bardorfer, 00], [Barnes, 03], [Butner, 03], [Ghodoussi, 02], [Kwon, 98], [Zeus, 04]

¹⁸ [Zeus, 04]

Además del campo de la cirugía, que es muy llamativo también esta la manipulación de microorganismos, microrrobots y tecnologías que cada día evolucionan. Un ejemplo típico de este caso es la investigación en el área del genoma humano, en donde se tienen que manipular moléculas del orden de los micras.

3.3.6 -Otras aplicaciones¹⁹

La teleoperación también ha entrado con fuerza en otros sectores a los que en principio no estaba enfocada. Entre éstos se pueden citar los siguientes: aplicaciones de construcción y minería, mantenimiento de líneas en tensión, mantenimiento de instalaciones, intervención en desastres naturales y entretenimiento.

La tele-programación, teleoperación y tele-monitorización cada vez se aplica mas a la industria, en especial la automoción que la mayoría de sus procesos son líneas robotizadas [Brady, 00], los sistemas de control cada día avanzan y con ellos los nuevos paradigmas como la cooperación entre dichos sistemas y el ser humano [Debus, 00], mostrando la amplia gama de aplicaciones en este ámbito del conocimiento.

4- Métodos de control en teleoperación

Los objetivos de un sistema de control de teleoperación según [Ollero, 01] son;

- Hacer que el control manual del operador humano sea robusto ante retardos, saturación de los actuadores y otras no linealidades, e incluso ante los propios errores del operador.
- Permitir elevadas prestaciones en la teleoperación (precisión, tiempo de teleoperación, comodidad) haciendo que los bucles de control tengan un comportamiento dinámico apropiado y reduciendo el trabajo del operador para lo cual se llega a realizar eventualmente de forma automática la acomodación y el control de esfuerzos en esquemas de control compartido. La reducción del tiempo de teleoperación con el sitio remoto debe ser importante, debido a que la ventana temporal de comunicaciones puede ser limitada.

Un aspecto importante es la determinación de la información que se suministra al operador, en muchos sistemas, la información sensorial fundamentalmente es visual.

Existe un estudio [Niemeyer, 98] en el que menciona que la realimentación de esfuerzos al operador permite disminuir las fuerzas de contacto, el tiempo de teleoperación y el numero de errores del operador, la reflexión de esfuerzos a las articulación del manipulador maestro permite acoplar el operador cinestésicamente al entorno, sin embargo cuando existen retardos en la comunicación como en el caso de [Diolaiti, 02] la realimentación de esfuerzos puede afectar de forma negativa a la teleoperación.

¹⁹ [Aracil, 98], [Hamel, 01], [Hasunuma, 02], [Hasunuma, 03]

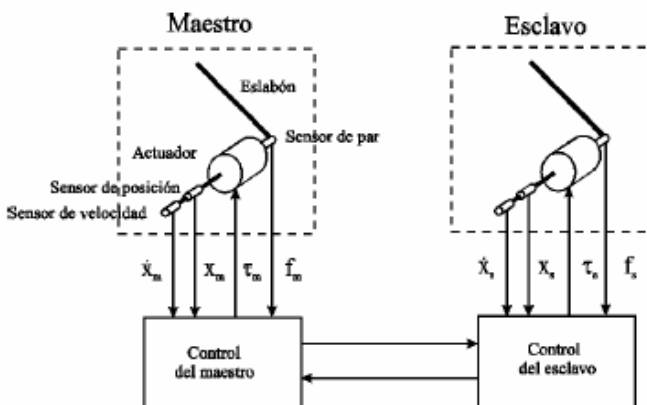
4.1- Control bilateral

Antes debemos mencionar que el control unilateral según [Aracil, 02] es, cuando el maestro genera las señales de referencia, ya sean de posición o velocidad, para los bucles de control de las articulaciones del esclavo.

Control bilateral: existe realimentación de esfuerzos al operador, la forma mas habitual de realizarla es mediante la realimentación cinestésica en la que el sistema convierte la fuerza de contacto del esclavo en una fuerza aplicada sobre la mano del operador [Aracil, 02]. Si se quiere adentrar en este tipo de control véase [Ollero, 01].

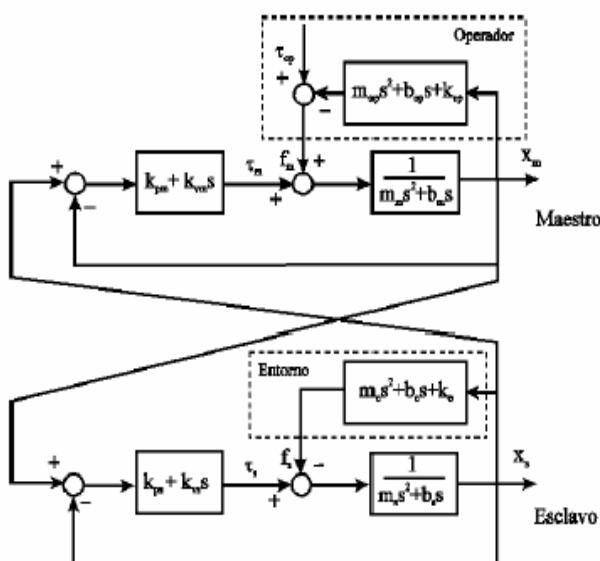
El problema en el caso de control bilateral se reduce a que el esclavo debe seguir los movimientos realizados por el maestro, así como la realimentación cinestésica de las fuerzas del esclavo al maestro en un medio de comunicación con retardos, se han hecho muchos estudios en el caso de Internet para disminuir los problemas ocasionados por dichos retardos, entre la literatura encontramos a [Bejczy, 94], [Chopra, 03], [Mirfakhrai, 02], entre otros.

El ejemplo mas simple de control bilateral es cuando en [Aracil, 02] presenta una arquitectura en la que el maestro y el esclavo tienen una cinemática proporcional, y el control se realiza articulación a articulación.



Teniendo en cuenta esta arquitectura el control se limita a hacer corresponder los ángulos de cada articulación, así como los esfuerzos.

Figura 15 -Control maestro-esclavo



En este esquema de control vemos como las fuerzas que genera el maestro se miden en el esclavo y se realimentan físicamente al bucle de control del maestro.

Figura 16 -Esquema de control M-E

Soluciones a problemas de control en sistemas de teleoperación en los que la cinemática de el maestro difiere de la del esclavo se proponen en [Ollero, 01], [Penin, 00],[Salcudean, 98].

4.2- Control supervisado y coordinado

En el *control coordinado* el operador controla los actuadores, pero ahora existe un lazo de control incluido en el sitio remoto, de cualquier manera no hay autonomía en el elemento final, los lazos cerrados de control en el esclavo son usados cuando el operador no puede controlar directamente el esclavo debido a los retardos en la comunicación. Los sistemas en los que hay un lazo de control digital cerrado utilizan esta estructura de control. Un ejemplo acerca de este tipo de control es [Diolaiti, 02], los esquemas se muestran a continuación.

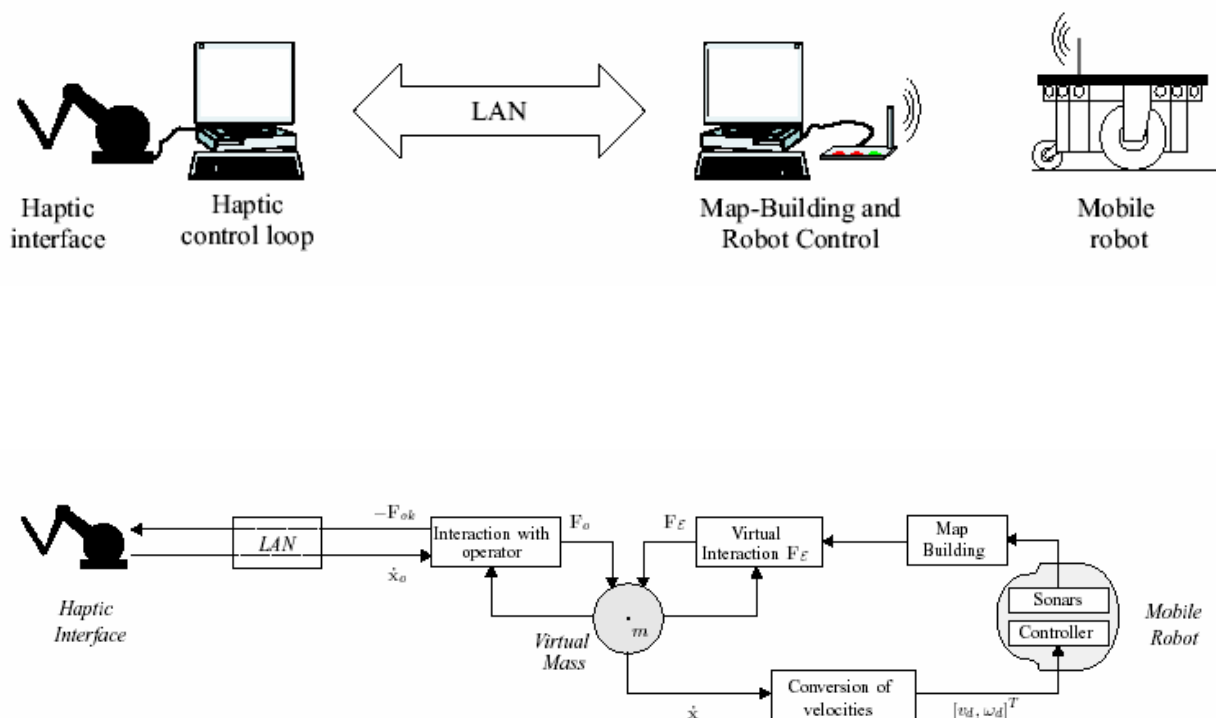


Figura 17 -Teleoperación de un robot móvil usando control coordinado [Diolaiti, 02]

En el *control supervisado* el manipulador esclavo puede hacer parte de las tareas mas o menos autónomamente, mientras que el operador monitorea y da comandos de alto nivel para que el manipulador los ejecute, este tipo de sistemas son los mas usados y estudiados en la actualidad, ya que permiten utilizar modelos virtuales, estimar parámetros entre otras cosas. Un ejemplo claro de este tipo de control se aprecia en [Fong, 01].

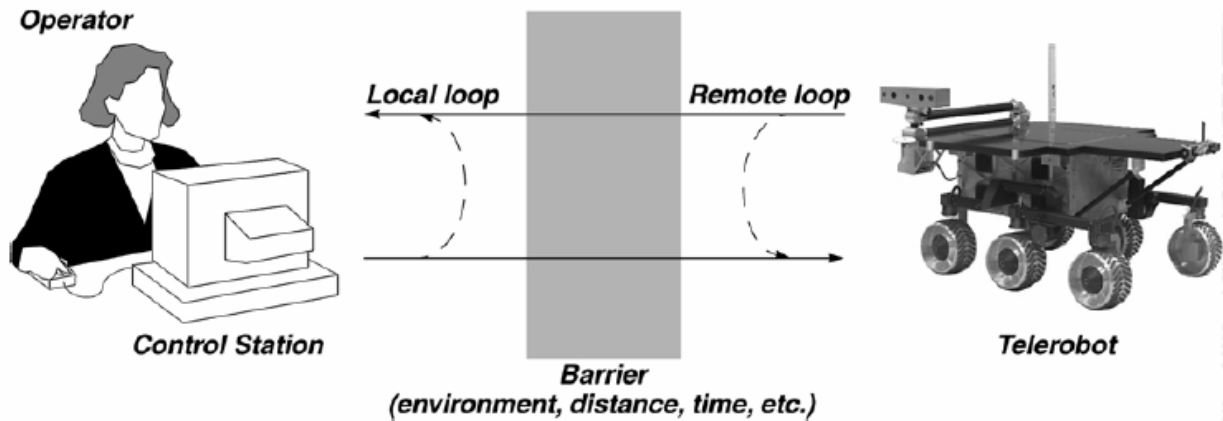


Figura 18 -Ejemplo de un sistema con control supervisado [Fong, 01]

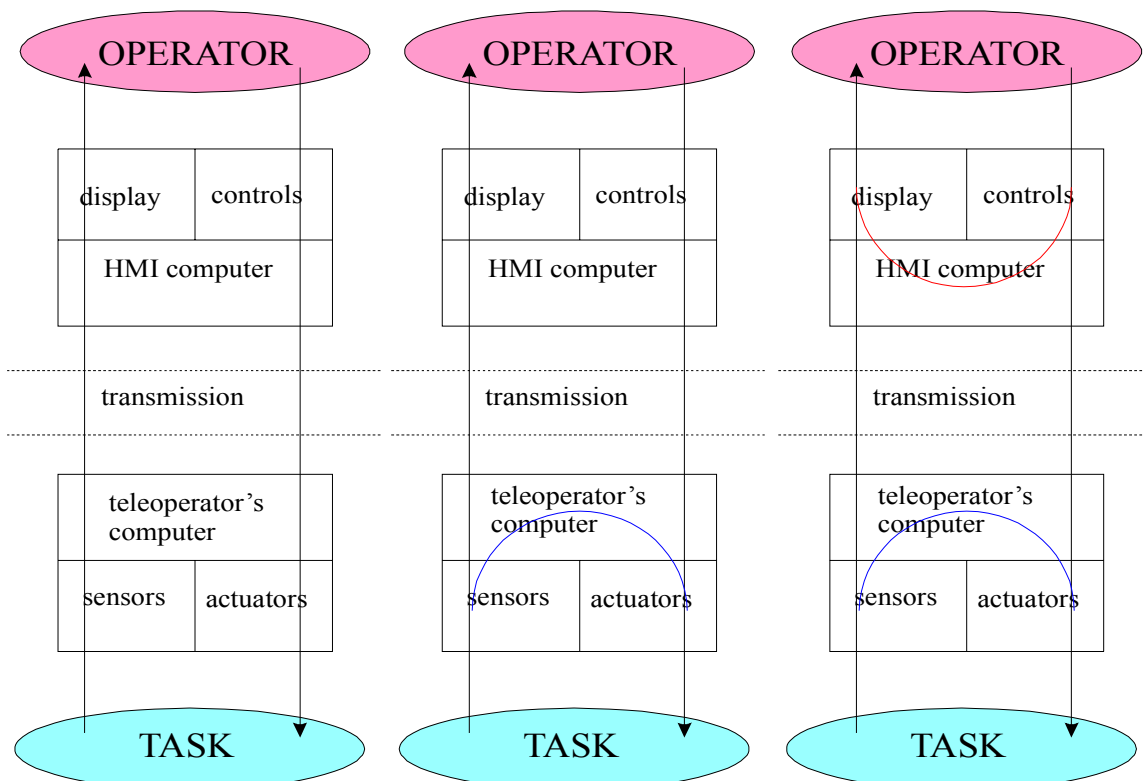


Figura 19 - Diferencias esquemáticas²⁰ entre control de lazo cerrado, control coordinado y supervisado. (Izq. a der.) [Schilling, 02]

²⁰ HMI (Human Machine Interface)

5-Interfaces

Las interfaces hoy en día cobran un papel muy importante en el campo de la teleoperación, debido a que la interfase es el contacto indirecto de el hombre con las máquinas, las interfaces según [Fong, 01] se dividen en 3 categorías; Interfaces directas, multimodal o multisensorial y de control supervisado.

5.1 –Directas

Este tipo de interfaces son las mas tradicionales, el operador controla el manipulador o vehiculo desde controladores de mano, como son joystics o applets de java en el ordenador, además el operador tiene realimentación visual por medio de cámaras montadas en el sitio remoto, con estas técnicas se logra un nivel bajo de telepresencia pero muy significativo, el operador puede sentir que esta en el lugar remoto, este tipo de interfase es la ideal cuando se tratan sistemas de teleoperación en los que el retardo es casi nulo, esto es en tempo real, de esta manera el teleoperador puede decidir en tiempo real también debido a que el tiene el control en todo momento del proceso teleoperado, estos sistemas necesitan un gran ancho de banda en sus comunicaciones y como decíamos un retardo casi nulo, aun hoy en día con todos los avances técnicos existen retardos y la presencia de estos retardos es tediosa y fatiga al operador.

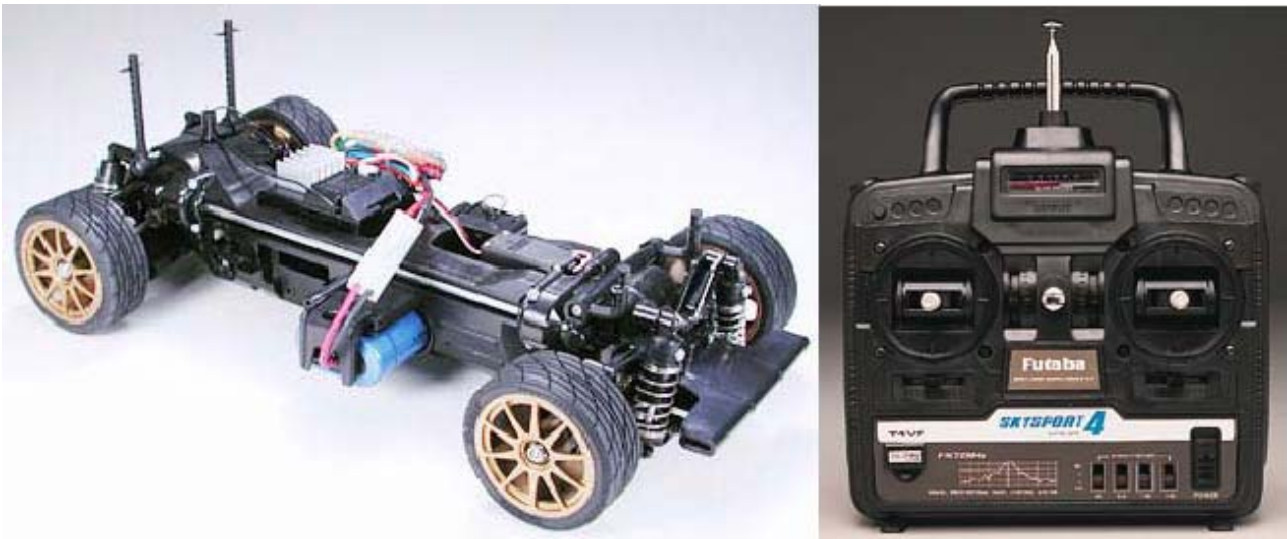
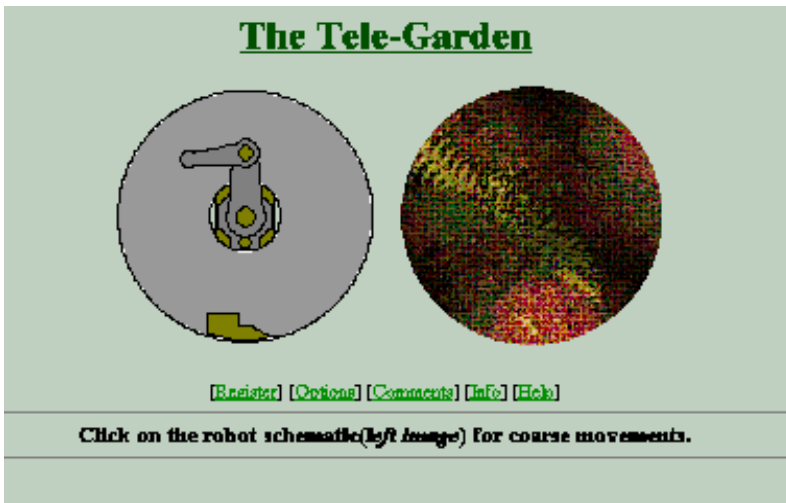


Figura 20 -Ejemplo de interfase directa²¹

²¹ www.futaba.com



Los creadores de esta interfase son también creadores del proyecto Mercury, el primer robot operado desde Internet [Goldberg, 95].

Figura 21 -Telegarden, ejemplo de interfase directa²²

5.2 -Multimodal o multisensorial

Cuando un robot complejo se mueve en una situación dinámica el operador puede tener dificultades en la percepción del estado del robot, o también en la ejecución de las acciones de control.

Este tipo de interfaces proporcionan a el operador diferentes maneras de control, algunos ejemplos típicos de estas diferentes maneras de control son actuadores individuales con realimentación grafica y realimentación visual. Las interfaces multisensoriales toman información de varios sensores y la combinan en un grafico integrando a todas ellas, estos gráficos ayudan al operador a controlar mejor el manipulador. Aquí mostramos ejemplos de este tipo de interfaces:

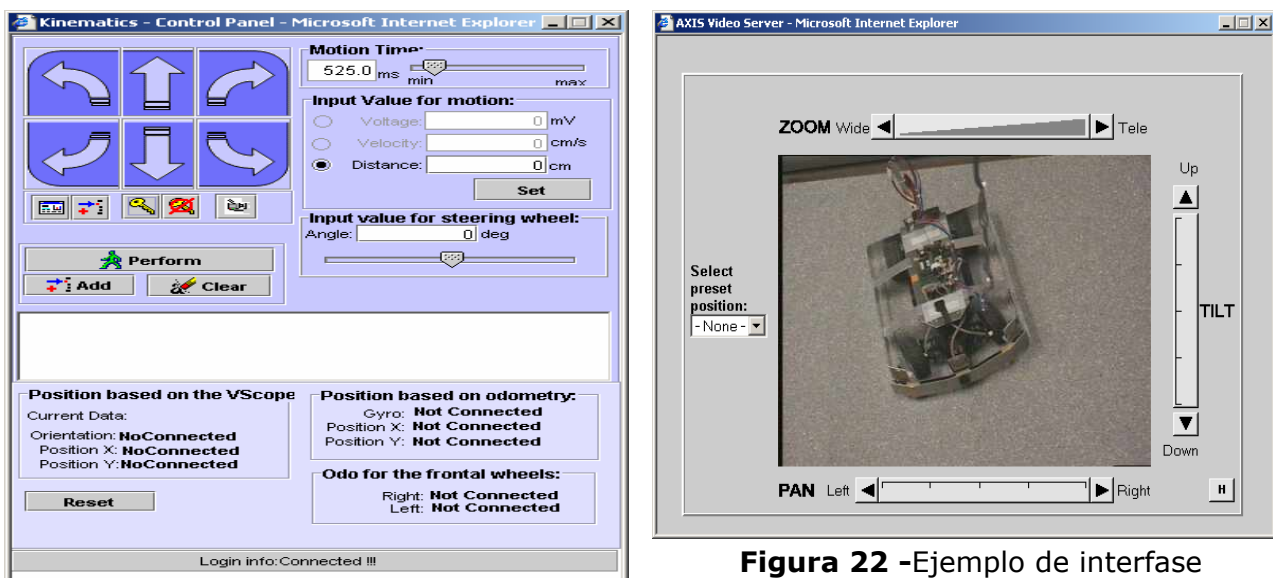


Figura 22 -Ejemplo de interfase multisensorial²³

²² <http://telegarden.aec.at/cgi-bin/gard-control/G?>

²³ <http://www.merlin.informatik.uni-wuerzburg.de/>

School of Electrical, Computer and Telecommunications Engineering
University of Wollongong - Robotoy

As and exclusive for you Internet Explorer users, for a pop-up window of a live image of the robot, click [here](#)

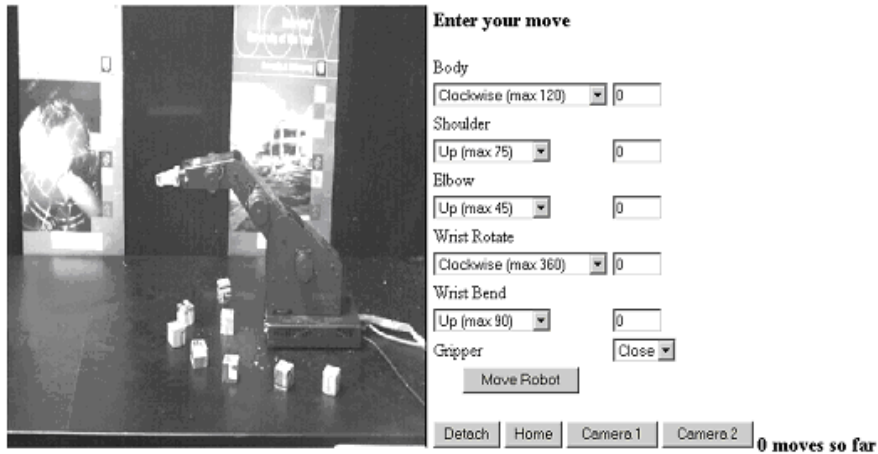


Figura 23 -Interfase multimodal²⁴

5.3 -Interfases para control supervisado

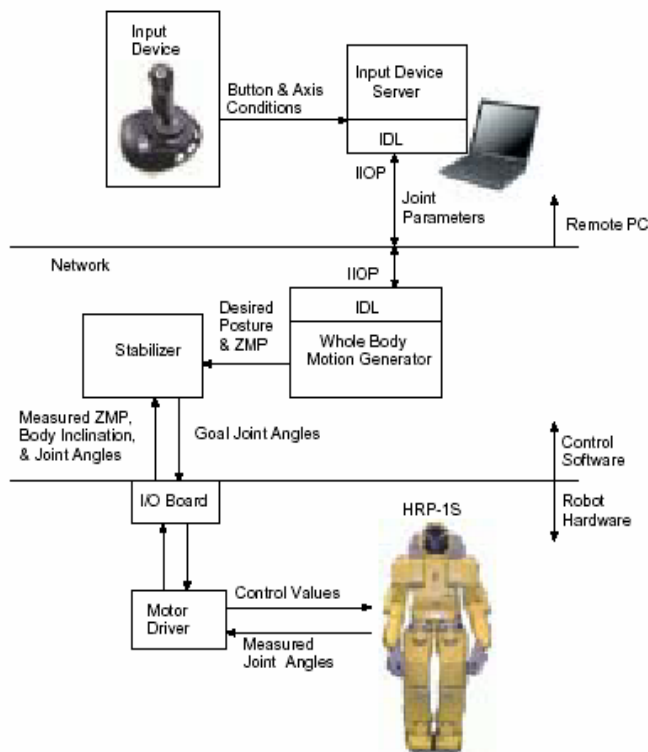
En estas interfases se da toda la información necesaria para que el operador sienta el máximo de telepresencia en el sitio remoto, hacen utilización de dispositivos hápticos con realimentación de fuerza y torque, utilizan dispositivos de realidad virtual, como guantes, lentes, trackers, todo lo que pueda servir para que exista el grado máximo de telepresencia.



Figura 24 -Dispositivos hápticos

²⁴ <http://robotoy.elec.uow.edu.au/roboframe.html>

Debido a la gran variedad de usos que tienen estos tipos de interfases en cuanto a aplicaciones se refiere, su uso crece cada vez más.



En esta figura podemos observar un sistema de control supervisado [Sian, 02]. Existen otros ejemplos que utilizan este mismo esquema como [Hasunuma, 02], [Hasunuma, 03].

Figura 25 -Ejemplo de un sistema con interfase háptica

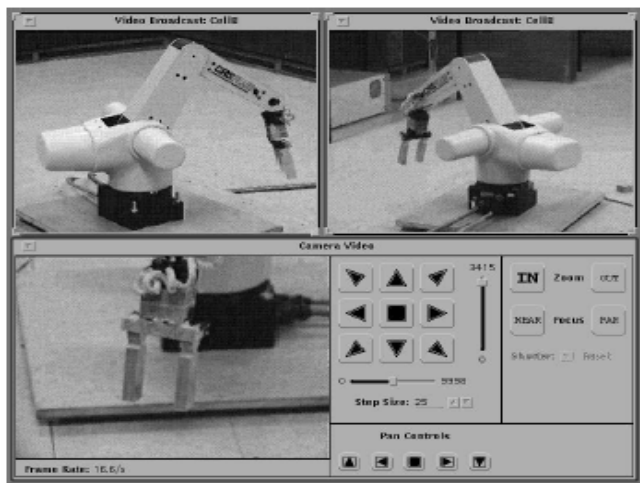


Figura 26 -Interfase creada para el sistema usado en [McKee, 01]

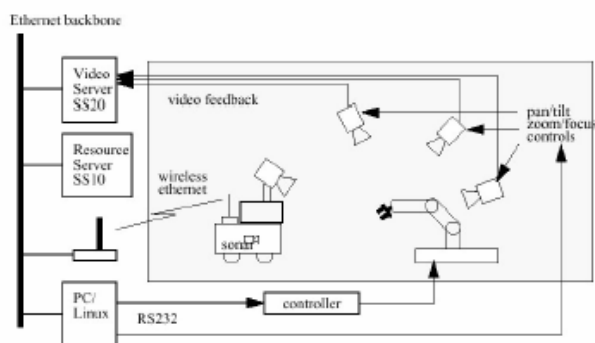


Figura 27 -Sistema usado en [McKee, 01]

7- Conclusiones

En este trabajo podemos apreciar que el campo de la teleoperación es muy extenso, hoy en día gracias a los avances en sistemas de comunicaciones podemos ver el uso de técnicas de teleoperación con realidad virtual y aumentada, aunado esto a los dispositivos hápticos tenemos cada vez mayor telepresencia.

Cada día los sistemas informáticos aumentan sus capacidades, con la creación de Internet²⁵, de GEANT²⁶ y de redes de comunicación semejantes en el mundo, las aplicaciones que antes creíamos de ciencia ficción hoy son parte de nuestra realidad, desde la cirugía hasta el aprendizaje a distancia, transmisión de datos en milisegundos de un continente a otro, estos desarrollos paralelos e intrínsecos en la teleoperación hacen que vivamos en un mejor entorno, para bien de nosotros mismos y de la ciencia.

La teleoperación en el entorno industrial se vuelve importante para monitorizar los procesos en celdas robotizadas o de procesos automáticos, hoy en día podemos hacer uso de las herramientas de telepresencia para observar un proceso en el otro lado del mundo.

Existe un campo muy importante que apenas comienza a ser explorado y que tiene muchas aplicaciones, es la teleprogramación de robots industriales, debido a la complejidad en los sistemas de planificación de movimientos para evitar colisiones la programación de robots se hace cerca de ellos, hoy con las herramientas que tenemos, dispositivos hápticos con realimentación de fuerza, cámaras con visión estereoscópica podemos obtener mucha información del lugar remoto y así esta información usarla para programar dichos robots.

En el anexo 1 en forma de tabla podemos ver una síntesis de trabajos realizados alrededor del mundo en el ámbito de la teleoperación, estos trabajos nos sirven para tener una referencia de la situación actual en dichos sistemas.

En el anexo 2 el lector puede usar esta información para probar algunos robots teleoperados desde Internet, así como de algunos laboratorios virtuales.

²⁵ www.internet2.edu

²⁶ www.dante.org

8- Anexo 1

Estado del Arte "Teleoperación"	Aplicación						
	Militar	Espacial	Industrial	Submarina	Medica	Educación	Riesgo / Peligro
[Alcázar, 03]							x
[Alencastre, 03]					x	x	
[Aracil, 02]							
[Aracil, 98]			x				x
[Baradorfer, 00]				x			
[Benali, 01]						x	
[Butner, 03]				x			x
[Cassinis, 02]							x

Transmisión de datos			
TCP / IP	UDP / IP	Ondas de Radio	Otro
x	x		
	x		
			RS-232
x	x		
	x		RS-232
x			

Control	Técnica Remota	Técnica Local	Comentarios
Supervisado	Helicóptero HELIVISION, 2 cámaras de alta definición, 1 cámara infrarroja, un GPS, un puerto IEEE 802.11b, tarjeta de red inalámbrica.	2 radiocontroles, un ordenador central, un puerto IEEE 802.11b, tarjeta de red inalámbrica.	Por medio de un radiocontrol se teleoperan los servos del helicóptero, con el otro las cámaras, en base a la tecnología en redes inalámbricas se tiene acceso a los dispositivos montados en el helicóptero para el monitoreo de la trayectoria.
Supervisado	Múltiples robots; PUMA 560 (6dof), Movemaster EX (6dof), Júpiter XL (3dof), AS/RS (3dof), A465 (6dof), AmigoBot (2dof), Pioneer 2Dxe (2dof).	Es un entorno multiusuario creado por una GUI (Graphic User Interface), creado en JAVA	Lo interesante en este artículo es que se puede teleoperar a diferentes robots en un entorno multiusuario, desde cualquier ordenador conectado a Internet y con el JAVA virtual Machine puede telemanipular estos robots, también tienen un servidor de vídeo con 2 cámaras para visualizar lo que hacen los robots.
			Este artículo nos da una descripción general del ámbito de la teleoperación, toca temas como el control bilateral, el control de variables de estado y algo de retardos.
Bilateral	2 brazos (6 dof + grip), Stereo visión, escáner láser y una videograbadora en tiempo real.	2 dispositivos hapticos con realimentación de fuerza, (3 dof), una plataforma de estero visión.	Uno de los obstáculos a vencer en este proyecto fue la variación de la luz ambiental, debido a que se trabaja siempre en la interperie las cámaras tenían mucha interferencia con la luz solar, por ello se uso el escáner láser.
Bilateral	Robot ASEA Irb 6 (5dof), ordenador para controlar el robot	PHANTOM premium 1.5 (6 dof), ordenador conectado al robot via RS232	Este artículo hace mas hincapié en los métodos de control que en las aplicaciones, utiliza control por realimentación de fuerza, aunque el robot esclavo no tiene sensor de fuerza, la fuerza se mide por medio de los momentos en los motores de cada articulación, existen dos métodos de control uno directo que mide en base al momento del motor una fuerza y otro indirecto, en el que tratan al robot esclavo como una impedancia mecánica, se controla la posición y la velocidad del robot.
Supervisado	Robot Cuadrúpedo conectado vía RS232 a un ordenador con un sistema operativo en tiempo real QNX	Un ordenador conectado a Internet con el software encargado de manipular el robot a distancia.	En este artículo lo que mas se hace es analizar los tiempos de ida y vuelta de los paquetes de información a través de Internet, el proyecto se trata de telemanipular un robot de 4 patas, en la interfaz se le ordena los puntos a los que se tiene que dirigir.
Bilateral	Robot Zeus, tres brazos Robóticos, uno para posicionar una cámara y 2 para el instrumental quirúrgico.	2 brazos maestros sin realimentación de fuerza, un touch-screen para situar la cámara, 3 monitores con diferente información visual.	Este artículo esta basado en el sistema Zeus de Computermotion Inc. , lo que se hace es separar la parte del maestro y esclavo, el sistema Zeus esta creado para hacer telecirugía pero la distancia de separación entre el maestro y el esclavo es mínima, deben estar en la misma sala, en cambio ahora con este trabajo se ha creado un nuevo sistema que se comunica a través de Internet por medio de una línea dedicada de comunicaciones.
Supervisado	2 cámaras CCD para visión estereoscópica, un robot industrial (6 dof, ROBOSOFT GT-6A), sensor ultrasónico	Unos lentes LEEP (Large Espanse Extra Perspective), un tracker 3Space-Iso Track.	Aquí nos muestran un ejemplo de telepresencia, el operador se pone los lentes en donde puede ver una escena como si estuviese en el lugar remoto, y el tracker manda la orientación y la ubicación de los lentes, de esta forma el robot seguirá dicha ubicación y el operador tendrá la realimentación visual remota.

Estado del Arte "Teleoperación"	Aplicación						Transmisión de datos				Control	Técnica Remota	Técnica Local	Comentarios		
	Militar	Espacial	Industrial	Submarina	Medica	Educación	Riesgo / Peligro	TCP / IP	UDP / IP	Ondas de Radio					Mecánico	Otro
[Cheng, 03]						x		x					Bilateral	Mitsubishi RV-M2 (5dof), sensor de fuerza y torque JR3	Joystick (Inmersión 5dof 3 con realimentación de fuerza)	Aquí se crea un entorno de realidad virtual para teleoperación, el lazo de control se cierra con el operador, con este sistema se pretende crear un alto grado de inmersión de parte del operador, se usa el joystick como maestro y así mismo el operador tiene realimentación visual y de fuerza.
[Debus, 00]				x									Bilateral	Robot tipo WAM (Whole Arm Manipulator) 7 dof, hidráulico	PHANToM (6 dof) pasivo, video en tiempo real.	Con un PHANToM guían el robot esclavo para tareas de unión de conectores bajo el mar, para oleoductos y sistemas de tuberías semejantes.
[Diolaiti, 02]								x	x				Bilateral	Robot móvil radiocontrolado, 16 sensores ultrasónicos.	Dispositivo Haptic, PHANToM (2 dof) con retroalimentación de fuerza, LAN UDP	Mediante un dispositivo haptic, se manda y recibe información en una LAN usando UDP a una estación remota, en esta estación remota se planifican los movimientos del robot móvil en base a la información enviada por el mismo, la interfase entre la estación remota y el robot móvil es por radiocomunicación.
[Elhajj, 00]						x		x	x				Bilateral	Robot Móvil Nomadic XR4000, videocámara Sony EVI-D30 de alta resolución y una Logitech Quickcam de baja resolución.	Joystic Microsoft SideWinder Force Feedback Pro (3 dof)	Aquí se hace un estudio entre retardos en el sistema de transmisión de datos entre dos puntos en base a Internet, el video mandado por la cámara de alta resolución es de mejor calidad pero debido a la cantidad de información enviada tiene mayor retardo que con el de baja, así mismo la retroalimentación de fuerza se ve afectada por este retardo.
[Fernández, 02]						x		x					Bilateral	Robot Mitsubishi PA-10, Pinza lineal de gran recorrido.	PHANToM (6 dof)	Es un sistema que se entrena para poder escoger dos puntos de aprehensión de un objeto, se proponen unas heurísticas para determinar dichos puntos.
[Fiorini, 97]								x	x					Ordenador conectado a Internet	Ordenador Conectado a Internet	En este artículo se discuten las ventajas y desventajas entre UDP y TCP como protocolo de transporte, además se introduce un nuevo protocolo RTP y RTCP (Real-time Transport Protocol y Real Time Control Protocol), se hacen mediciones entre estos 3 protocolos de transporte desde el laboratorio JPL en California y Padoba Italia 10000 Km. de distancia. Demostrando que el RTP es el mas rápido.
[Fong, 01]	x	x	x	x	x	x										En este artículo se hace una clasificación de las interfaces que se utilizan en los distintos sistemas de teleoperación, las clasifican dependiendo de que tipo de robot o vehículo se teleoperará, desde un robot móvil hasta un avión, desde una GUI creada en realidad virtual hasta una GUI creada en JAVA para un pocket pc.
[Fong, 03]	x							x	x				Colaborativo	Ordenador tipo Palm con Windows CE y una wireless LAN CVRD	2 Robots móviles PIONER-AT y PIONER2-AT, ambos con una wireless LAN Card	Lo interesante en este artículo es el control colaborativo entre los robots y el usuario, por medio del GUI (Graphical User Interface) implementado en JAVA se puede monitorear lo que cada robot hace, a su vez el robot esta programado con algoritmos de planificación de movimientos libres de colisiones así como de procesamiento de imágenes que lo hacen semi-inteligente, en la cual hace preguntas al usuario acerca de los obstáculos que se encuentra y hacia a donde debe dirigirse, ambos, el robot y el usuario comparten información.

Estado del Arte "Teleoperación"	Aplicación							
	Militar	Espacial	Industrial	Submarina	Medica	Educación	Experimental	Riesgo / Peligro
[Fung , 03]			x					
[García, 02]					x			
[Giralt, 02]					x			
[Goldberg, 00]						x		
[Guzmán, 02]					x			
[Hashimoto, 97]						x		
[Hasunuma, 02]							x	
[Kimura, 97]	x							

Transmisión de datos				
TCP / IP	UDP / IP	Ondas de Radio	Mecánico	Otro
x				
x	x			
x				
x				
x				
x	x			
x				

Control	Técnica Remota	Técnica Local	Comentarios
Bilateral	Robot PUMA 560 montado sobre un robot móvil Nomadic XR4000, wireless LAN, un ordenador y una cámara de video	Una GUI que da realimentación visual al usuario, el usuario manipula el robot mediante un joystick con realimentación de fuerza.	Lo mas importante en este trabajo es la implementación del sistema de comunicación entre el lugar remoto y el local, esto se lleva a cabo mediante un algoritmo de control basado en redes que ofrecen QoS (Quality of Service), los retardos se hacen mas pequeños desde la Universidad de Michigan en US hasta la Universidad de Hong Kong en promedio un paquete tarda 276.5 ms.
Bilateral	Robot BOSCH SR-800 SCARA (4dof),	Manipulador cartesiano CYBERNET (6dof), 2 simuladores 3D, uno con la posición real y otro con la deseada.	Garcia et al. Hacen una comparación entre los retardos ocasionados de la transmisión de datos por los protocolos TCP y UDP, utilizan un sistema de compensación para disminuir dichos retardos. Teleoperan un robot tipo SCARA (4dof) desde Internet con un manipulador cartesiano CYBERNET (6dof)
Supervisado	Levitador Magnético, Dirigible, 3 cámaras de video	Interface creada en java, con realimentación visual, VRML	Teleoperación de un Levitador Magnético y un Dirigible para tareas Educativas.
Supervisado	Dos ordenadores, una videocámara, un robot Adept 604-S 4dof tipo SCARA	Un ordenador conectado a Internet con el JAVA virtual machine	La mayor parte de este trabajo esta basado en un software que utiliza la información de varios usuarios conectados a la pagina que alberga la GUI del proyecto, se coleccionan los datos de todos los usuarios conectados y se saca un promedio, el punto resultante es el lugar geométrico donde se situara la pinza del robot, la GUI esta creada en JAVA.
Supervisado	la consigna de movimiento llega al controlador del robot vía RS232	java, html, script de video	Programación de movimientos de un Robot desde Internet, se puede monitorear el proceso gracias a una cámara.
Bilateral	Un HSD (Hand Shake Device), con un sensor de fuerza y de posición, el controlador del dispositivo.	Un HSD (Hand Shake Device), con un sensor de fuerza y de posición, el controlador del dispositivo.	De lo que se trata es de un saludo virtual, dos personas conectadas a Internet pueden experimentar un saludo como si fuera realidad, los dispositivos están conectados a través de Internet y se transmiten la información necesaria para dar la mayor apariencia de un saludo.
Bilateral	Robot humanoide HRP-1S, con 28 dof, visión estereoscópica, wireless LAN, ordenador para control del robot.	El sistema remoto consta de 6 partes, 2 brazos maestros, 2 pies maestros, un ordenador y una tarjeta wireless LAN.	Aquí podemos ver como se utiliza un robot humanoide de 28 dof equipado con múltiples sensores como; 2 giroscopios, 4 sensores de fuerza y torque, 2 videocámaras y múltiples encoders. Todos este sistema es controlado remotamente para conducir una excavadora, este proyecto esta concebido no solo para manipular la excavadora, con esto los investigadores muestran que el humanoide puede realizar un trabajo 'complicado' y que por lo tanto podrá realizar casi cualquier tipo de trabajo, siempre siendo telemanipulado.
Bilateral	Robot (6dof) con retroalimentación de fuerza	Simulador de Movimientos en 3D, lazo cerrado de control con la retroalimentación de fuerza.	Este artículo trata acerca de la Teleoperación de un robot (6dof) mediante control bilateral para realizar tareas de ensamblado de antenas en un satélite cuya orbita esta a 550 Km. de la tierra.

Estado del Arte "Teleoperación"	Aplicación					
	Militar	Espacial	Industrial	Submarina	Medica	Educación Experimental Riesgo / Peligro
[Lelevé, 01]						x
[Lloyd, 97]						x
[Mahtani, 03]		x				
[Monferrer, 02]			x			x
[Monteiro, 97]						x
[Parra, 03]				x	x	
[Pedreño, 02]					x	
[Rovetta, 90]	x					

Transmisión de datos				
TCP / IP	UDP / IP	Ondas de Radio	Mecánico	Otro
x				
x				
		x		
x	x			
				RPT
x	x			Internet2
x				
				x

Control	Técnica Remota	Técnica Local	Comentarios
Supervisado	Vehículo terrestre equipado con un manipulador PUMA, un ordenador portátil con una tarjeta wireless de 2 Mbps.	Ordenador conectado a la LAN local, no hay conexión desde Internet.	Aquí utilizan el control predictivo para contrarrestar los efectos de los retardos en el medio de transmisión, la implementación solo está hecha en una red local, no hay conexión a Internet. Desde el sitio remoto se mandan las consignas de control para ambos robots, el PUMA es controlado mediante el ordenador portátil con una ley de control PID, en el sitio maestro se calcula el control predictivo.
Supervisado	Robot CRS A460 6 dof, una cámara de baja resolución en escala de grises.	3 ordenadores SGI Indy, uno para la transmisión de video, otro para el cálculo del modelo de realimentación, otro para el modelo de trabajo.	El sistema de visión reconoce las figuras que debe tomar el robot, el sistema ha sido modelado y en base a estos modelos se crean las consignas de control para que la tarea de teleoperación tenga éxito, una de las desventajas de este tipo de teleoperación es sin duda la extracción del modelo, además que ofrece un nivel muy bajo de telepresencia.
Supervisado	Instrumento TRIBOLAB en la Estación Espacial Internacional	Interface creada para el S. O. Linux, retroalimentación visual.	En este artículo se describen los tipos de experimentos que se realizan a bordo de la SSI (Estación Espacial Internacional), estos experimentos son acerca de las propiedades de los metales y algunas sustancias en las características del espacio, la teleoperación juega un papel fundamental, ya que todos los experimentos son teleoperados y analizados desde la tierra.
Supervisado	Robot submarino (6 dof), cámara de alta resolución, sonar.	Entorno virtual en 3D, los controles son Active X,	Este artículo da una explicación de cómo se consigue crear un ambiente 3D de realidad virtual en base a los datos de posición que manda el robot submarino.
Supervisado	Robot móvil, realimentación visual, ordenador conectado a Internet WLAN	Applet de JAVA con realimentación visual al operador	El trabajo aquí desarrollado es acerca de tele manipulación de un robot móvil por medio de una aplicación a distancia creada en JAVA, el operador visualiza el entorno del robot y lo guía para no colisionar.
Bilateral	2 brazos CRS (6dof), 2 webcams	1 joystick sidwinder (3dof) con realimentación de fuerza, un PHANTOM (3dof) con realimentación de fuerza	En este proyecto se hace uso de un cálculo predictivo de la posición para ver el estado de ambos robots y sus posibles colisiones, ambos robots son teleoperados desde lugares remotos y cooperan entre los dos para realizar una tarea en común, la comunicación se hace a través de I2, con esto garantizan una Calidad de Servicio y los retardos ocasionados por la comunicación se hacen mínimos.
Supervisado	Robot Industrial (8dof)	Interface en java, desde Internet, visión estereoscópica remota	Brazo de 8 dof con visión estereoscópica remota desde Internet.
Supervisado	Un brazo robótico de 6dof con una cámara de video, ambos conectados a un ordenador que a su vez está conectado al instrumento de comunicaciones abordo.	Un ordenador conectado al centro de comunicaciones de la ESA (European Space Agency).	El sistema de teleoperación aquí presentado puede funcionar de tres maneras diferentes; simple teleoperación, cooperativa y operación automática, debido a que los retardos de comunicación son muy grandes se utilizan estos tres tipos de control, para que así el sistema esté siempre controlado.

Estado del Arte "Teleoperación"	Aplicación							Transmisión de datos				Control	Técnica Remota	Técnica Local	Comentarios		
	Militar	Espacial	Industrial	Submarina	Medica	Educación	Experimental	Riesgo / Peligro	TCP / IP	UDP / IP	Ondas de Radio					Mecánico	Otro
[Safaric, 03]						x	x		x					Supervisado	Brazo de 5 dof, ordenador con MATLAB 6.1	Ordenador con conexión a Internet y el Java Virtual Machine	En este artículo se diseña un método de comunicación con el robot que no permite que el robot colisione con nada, porque antes se hace un preprocesamiento de la información introducida por el usuario remoto, si esta información espacial es correcta entonces el robot se mueve y con el robot virtual creado en VRML.
[Schilling, 97]		x								x		RS-232		Supervisado	Robot móvil tipo rover llamado MIDD (Mobile Instrument Deployment Device), un ordenador, sensores de varios tipos.	Un ordenador conectado al centro de comunicaciones de la ESA (European Space Agency).	Lo que se debe de tener en cuenta en este trabajo es el retardo tan grande que existe entre el robot esclavo y la estación maestra, el robot debe de cumplir con muchas características necesarias para la exploración de terreno hostil, en el sitio remoto el robot esta conectado vía RS232 al ordenador central a su vez las cámaras montadas en el robot están conectadas vía coaxial a un servidor de video, encargado de capturar imágenes y transmitir las,
[Sian, 02]							x		x					Bilateral	Humanoide*,	2 joysticks (3 dof), sistema de visión estereoscópica y un ordenador que muestra en 3D la configuración real del humanoide	*(30 dof; 6 c/pierna, 7 c/brazo, 1 c/gripper, 2 cabeza), en el torso cuenta con un sensor de inclinación creado a partir de dos giroscopios y un sensor de fuerza, cada pie y muñeca tiene un sensor de fuerza/torque, la cabeza esta equipada con dos video cámaras.
[Suzuki, 97]			x						x	x				Supervisado	3 robots móviles, cámaras independientes en cada uno,	Un ordenador conectado a Internet	Nos dan una perspectiva de un proyecto de manipulación de robots móviles a través de Internet, todos los robots son teleoperados por una persona, implementan un sistema que maneja todos los robots desde un ordenador, el usuario tiene alimentación visual del entorno remoto.
[Taylor, 97]						x	x		x					Supervisado	RobotABB IRB 1400 (6dof), 2 cámaras de video, un servidor de video y un ordenador.	Un ordenador conectado a Internet con el JAVA virtual machine	Este robot ha estado operativo desde 1996, en este artículo se muestran las estadísticas de su funcionamiento, así como las modificaciones que se han tenido que hacer con respecto al primer prototipo, lo mas signficante es el cambio que se hizo con respecto a la GUI.
[Tomizawa, 03]						x	x		x	x				Supervisado	Robot móvil YAMABICO, brazo de 6dof con pinza 1dof, controlados por un portátil conectado a Internet mediante una wireless LAN, a su vez cuenta con una cámara web usb.	Ordenador conectado a Internet, mediante una GUI (Grafical User Interface) creada en JAVA	El robot móvil se basa en la triangulación láser para ubicar el libro que se le pide, en el ordenador esta programado en que pasillo y en donde se encuentra el libro, una vez que el robot esta posicionado en frente del libro entonces ahora mediante dicha triangulación coge el libro deseado, primero lee el código de barras del mismo haber si ese es el libro deseado.
[Tsumaki, 97]		x									x			Bilateral	Brazo de 6 dof, sensor de fuerza/torque, una cámara de T.V	Robot esclavo de 6dof con un sensor de fuerza/torque, realimentación visual y un robot virtual.	Los errores del robot virtual están basados en un modelo de error geométrico y dinámico del telerobot, en base a esto se hace una aplicación con los tres robots, el esclavo, el maestro y el virtual, las conclusiones hablan de que el modelo es muy cercano a la realidad. Algo que debemos tener en cuenta es que este artículo trata de teleoperacion basada en el modelo.

9- Anexo 2

Remote Labs on the Internet around the World¹

(Last updated January 2004)

Ubicació	Pais	URL o E-mail
Deakin University	Australia	clive@deakin.edu.au
Telerobot: The University of Western Australia	Australia	http://telerobot.mech.uwa.edu.au/
Telelabs: University of Western Australia	Australia	http://www.mech.uwa.edu.au/jpt/tele/
University of Melbourne	Australia	Euan Lindsay elindsay@unimelb.edu.au
University of Technology Sydney (UTS)	Australia	Steve Murray stevem@eng.uts.edu.au
University of Wollongong	Australia	robotoy@elec.uow.edu.au
Cisco Systems (Remote Learning International)	Australia	http://www.remotelearning.com.au/
University of South Australia	Australia	http://www.unisa.edu.au/, zorica.nedic@unisa.edu
Remote electronics lab, Carinthia Tech Institute (University of Applied Sciences) School of Electronics, Villach	Austria	http://www.cti.ac.at/
Qanser Inc	Canada	http://www.qanser.com/
Tele-Universite du Quebec	Canada	saliah@licef.telug.quebec.cacloizeau@vid eotron.ca http://www.licef.telug.quebec.ca/fr/index .htm
Laboratoire Systemes Complexes (LSC) University d'Evry Val d'Essonne	France	otmane@cemif.univ-evry.fr
University of Hagen (Distance learning university) & others	Germany	http://rsvl.fernuni-hagen/roboter christof.roehrig@fernuni-hagen.de andreas.jochheim@fernuni-hagen.de
Control Net: Fachhochschule (Technical Institutes) of Nordostniedersachsen, Cologne, Düsseldorf, Stralsund	Germany	http://control- net.fhnon.de/website/index.php
Discourse: Distributed & Collaborative University Research & Study Environment: TU-Berlin and other local Uni's	Germany	http://www.discourse.de/
FiPS Remote Lab Univeristy Kaiserslautern	Germany	http://pcphy71.physik.uni-kl.de/
LearningLab: Lower Saxony, University of Hannover	Germany	http://www.learninglab.de/I_labs/
LearNet: various Technology Institutes in Germany (see University of Siegen)	Germany	http://learnet.esr.ruhr-uni-bochum.de/
Mars Rover: Fachhoshschule Ravensburg / Weingarten	Germany	http://redrover.ars.fh-weingarten.de/
Opto 22	Germany	http://www.internetio.com/Default.aspx
Telepraktikum INTERBUS, Fachhochschule Dusseldorf	Germany	http://pl.et.fh-duesseldorf.de/prak/
VVL (Verbund virtuelles Labor) - FH Aalen, Universität Tübingen, FH Konstanz, FH Heilbronn, FH Weingarten	Germany	http://www.vvl.de/VVL/index.html
University of Bremen, Festo	Germany	http://www.derive.uni-bremen.de/
University of Tübingen	Germany	Dieter Bühler: http://www- sr.informatik.uni-tuebingen.de/~buehler/

¹ www.uwa.edu.au

		http://robo16.fh-reutlingen.de/english/demo/jrcc_new.html http://robo16.fh-reutlingen.de/german/demos.html%20(demonstation)
Fachhochschule Konstanz	Germany	netrobot@fh-konstanz.de
Steffen Maus und Daniel Roth Netzmedien GbR Akademiestr. 46 76133 Karlsruhe Germany Phone: +49 721 160 7955	Germany	http://www.netzmedien.de/ http://www.h2-lab.com/ (Hydrogen electrolysis) http://www.remote-lab.de/ (A pair of optical tweezers and a toy car) http://www.rlab.de/ (A one-armed robot)
University of Siegen - also University of Weingarten - see other entry Rousse University	Germany Bulgaria [4] part of LearnNET and Learn2Control national projects	http://www.learnnet.de/ http://www.learn2control.de/ http://r210.rst.et-inf.uni-siegen.de/swingingrod http://www.rst.et-inf.uni-siegen.de/ University of Siegen, Hölderlinstr. 3, 57068 Siegen, Germany hubert.roth@uni-siegen.de Rousse University, 8 Studentska Str., 7017, Rousse, Bulgaria
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, University of Parma	Italy	http://rimlab.ce.unipr.it/Publications.html
Department of Information Engineering, University of Padova	Italy	http://www.dei.unipd.it/~oboe/papers/jbit.html
Norwegian University of Science and Technology, Dept Physical Electronics, Trondheim	Norway	http://ngl.fysel.ntnu.no/ carsten@wulff.no , yttedal@fysel.ntnu.no
KTH, Royal Institute of Technology, Stockholm	Sweden	http://www.energy.kth.se/proj/projects/wile-hpt-homepage/default.asp
Blekinge Institute of Technology	Sweden	http://www.its.bth.se/courses/skt106/distanslabbar/english/ingvar.gustavsson@bth.se
National University of Singapore	Singapore	http://vlab.ee.nus.edu.sg/vlab/index.html
Remote experiment lab, University of Santa Catarina	Spain, Portugal	http://www.inf.ufsc.br/~jbosco/labvir.htm http://www.inf.ufsc.br/~jbosco/
EPFL: Swiss Federal Institute of Technology (links to U. Florida Gainesville.	Switzerland (USA links [5,8])	See http://iawww.epfl.ch/Staff/Denis.Gillet/papers.html http://khepontheweb.epfl.ch/ , http://telerobolab.epfl.ch/
Ulster University	UK	http://isel.infm.ulst.ac.uk/distance.htm http://193.61.182.126/ E-mail: {MJ.Callaghan, JG.Harkin, TM.Mcginnity and LP.Maguire}@ulster.ac.uk
PEARL: Open University UK, Dundee, Trinity College Dublin & others	UK, Ireland, Greece, Portugal	http://kmi.open.ac.uk/projects/pearl m.cooper@open.ac.uk , alexis.donnely@cs.tcd.ie , jmf@fe.up.pt
Internet Remote Control: John Moores University Liverpool	UK/Germany	http://www.renewolf.de/download/beleg.pdf George F. Page
Princeton University	USA	http://www.cs.princeton.edu/~tpkelly/
University of Tennessee, Chatanooga, Chemical Engineering Lab	USA	http://chem.engr.utc.edu/
Stevens Institute of Technology: Remote Dynamical Systems Laboratory	USA	http://dynamics.soe.stevens-tech.edu/ http://www.soe.stevens-

		tech.edu/Academics/remote_lab.html
AIM Lab Norwegian University of Science and Technology, Rensselaer Poly NY	USA/Norway	shurm@rpi.edu http://nina.ecse.rpi.edu/shur/remote http://aimlab.unik.no/
Remote Microscopy and Telescope Berkeley	USA	http://www.lbl.gov/Science- Articles/Archive/remote-scopy.html
Summit: Senvid (Stanford University)	USA	https://www.senvid.net/servlet/senvid.su mmit.servlet.manageClasses.Login?type=0 &lang=en-us
MIT I-Lab Flag pole	USA	http://flagpole.mit.edu/ kevina@mit.edu, darshan@mit.edu
MIT I-Lab Heat Exchanger	USA	http://heatex.mit.edu/
MIT I-Lab Project	USA	http://weblab.mit.edu/ http://i-lab.mit.edu/
Oregon State University	USA	http://ece.oregonstate.edu/~shor/lab- development.html
Florida Atlantic University	USA	http://jupiter.cse.fau.edu/directory.html saoudi@cse.fau.edu
Frostburg State University	USA	senese@antoine.frostburg.edu, bender@antoine.frostburg.edu, jennykile@hotmail.com
Georgia Tech	USA	wayne.book@me.gatech.edu
Wright State University	USA	http://gozer.cs.wright.edu/classes/ceg499/ ceg499.html http://gozer.cs.wright.edu/people/johng/jo hng/html
Technoline	USA	http://www.techonline.com/
UC Berkeley Art Museum	USA	ouija@ouija.berkeley.edu
Polytechnic University Brooklyn	USA	http://media.poly.edu/mechanical/page/te mplate/remotelabs.cfm
University of California San Diego	USA	http://webshaker.ucsd.edu/

10- Referencias

- [Alcázar, 03] Alcázar J., Cuesta F., Ollero A., Nogales C., López F., **Teleoperación de Helicópteros para Monitorización Aérea en el Sistema multi-UAV COMETS**, Grupo de Robótica, Visión y Control Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla.
- [Alencastre, 03] Alencastre M., Munoz L., Rudomon I., **Teleoperating Robots in Multiuser Virtual Environments**, ENC 2003. Proceedings of the Fourth Mexican International Conference on Computer Science, 2003, 8-12 Sept. 2003.
- [Alex, 98] Alex J., Vikramaditya B., Nelson B. J., **Teleoperated Micromanipulation within a VRML Environment Using Java**, Proceedings of the 1998 IEEE/RSI, International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 1998.
- [Ando, 01] Ando N., Korondi P., Hashimoto H., **Development of micromanipulator and haptic interface for networked micromanipulation**, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Dec. 2001.
- [Aracil, 02] Aracil R., **Teleoperación**, III Jornadas de Trabajo Enseñanza vía Internet / Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática, Alicante, 18-19 de Abril de 2002.
- [Aracil, 98] Aracil R., Sánchez F. M., García D., González J.M., Jiménez L.M., **Obstacle Avoidance for Teleoperated Robots for Live Power Lines Mintance, Using Artificial Vision**, IFAC Workshop on Intelligent Components for Vehicles ICV98, Sevilla, España, Marzo 1998.
- [Bardorfer, 00] Bardorfer A., Munih M., **Connecting haptic interface with a robot**, Electrotechnical Conference, 2000. MELECON 2000. 10th Mediterranean, May 29-31, 2000.
- [Barnes, 03] Barnes B., Menon A.S., Mills R., Bruyns C.D., Twombly A., Smith J., Montgomery K., Boyle R., **Virtual Reality Extensions into Surgical Training and Teleoperation**, 4th International IEEE EMBS Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine, 2003, 24-26 April 2003
- [Bejczy, 94] Bejczy A., Fiorini P., Soo W., Schenker P., **Toward Integrated Operator Interface for Advanced Teleoperation under Time-Delay**, IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems, Munich (Germany), September 12-16, 1994.
- [Belousov, 01] *Belousov I.R., Chellali, R., Clapworthy G.J., Virtual reality tools for Internet robotics.* IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2001.
- [Belousov, 99] Belousov I.R., Tan J.C., Clapworthy G.J., **Teleoperation and Java3D Visualization of a Robot Manipulator over the World Wide Web**, IEEE 1999 International Conference on Information Visualisation, Londres, julio 14 - 16, 1999.

- [Benali, 01] Benali A., Wasiak, V., Fontaine J.G., **Remote robot teleoperation via Internet. A first approach**, Proceedings of the 10th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2001.
- [Birk, 02] Birk A., Kenn H., **RoboGuard, a Teleoperated Mobile Security Robot**, Control Engineering Practice, volume 10, Elsevier, 2002.
- [Brady, 00] Brady K., Tzyh-Jong T., **Internet based manufacturing technology: intelligent remote teleoperation**, Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2000. (IROS 2000). Nov. 2000.
- [Brady, 01] Brady K., Tarn T.-J., **Internet-based teleoperation**, Proceedings of the 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2001.
- [Brady, 98] Brady K., Tarn T. J., **Internet-Based Remote Teleoperation**, Proceedings of the 1998 IEEE, International Conference on Robotics and Automation, May 1998.
- [Butner, 03] Butner S. E., Ghodoussi M., **Transforming a Surgical Robot for Human Telesurgery**, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Oct. 2003.
- [Cassinis, 02] Cassinis R., Terceros M., **Intelligent Telepresence; Introducing Virtual Reality In Advanced Robots**, Robotics and Autonomous Systems, January 2002.
- [Chen, 03] Chen Q., Fei S., Song A., **Robust Control with Observer of Internet-based Teleoperation**, American Control Conference, 2003. 4-6 June 2003.
- [Chen, 97] Chen T. M., Luo R. C., **Remote Supervisory Control of an Autonomous Mobile Robot via WWW**, IEEE International Symposium on Industrial Electronics '97 Guimaraes, Portugal.
- [Chen, 97b] Chen T. M., Luo R. C., **Multisensor based autonomous mobile robot through Internet control**, International Conference on Industrial Electronics, 23rd International Conference on Control and Instrumentation, 1997. IECON 97. Nov. 1997.
- [Cheng, 03] Cheng-Peng K., Kuu-young Y., **Challenges in VR-based Robot Teleoperation**, ICRA '03. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003, Sept.14-19, 2003.
- [Chopra, 03] Chopra N., Spong M. W., Hirche S., Buss M., **Bilateral Teleoperation over the Internet: the Time Varying Delay Problem**, Proceedings of the 2003 American Control Conference, 4-6 June 2003.
- [Codourey, 97] Codourey A., Rodriguez M., Pappas I., **A Task-oriented Teleoperation System for Assembly in the Microworld**, ICAR '97, Monterrey CA., July 7-9 1997.

- [Dario, 02] Dario P., Mencias A., **Robotics for Surgery**, 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society EMBS/BMES Conference, 2002, 23-26 Oct. 2002.
- [Debus, 00] Debus T., Stoll J., Howe R., Dupont P., **Cooperative Human and Machine Perception in Teleoperated Assembly**, Experimental Robotics VII. The Fifth International Symposium, 2000.
- [Diolaiti, 02] Diolaiti N., Melchiorri C., **Teleoperation of a Mobile Robot through Haptic Feedback**, IEEE International Workshop 2002 HAVE Haptic Virtual Environments and Their Applications, 17-18 Nov. 2002.
- [Elhajj, 00] Elhajj I., Kerung W., **Real Time Bilateral Control of Internet Based Teleoperation**, Proceedings of the 3rd world congress on intelligent control and automation, june 28 2000, Hejfei, P. R. China.
- [Elhajj, 00b] Elhajj I., Xi N., Liu Y.H., **Real-Time Control of Internet Based Teleoperation with Force Reflection**, Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation.
- [Elhajj, 01] Elhajj I., Xi N., Fung W.K., Liu Y.H., Hasegawa Y., Fukuda T., **Modeling and control of Internet based cooperative teleoperation**, Proceedings of the 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2001.
- [Elliot, 97] Elliot E., Eagleson R., **Web Based Tele-Operated Systems Using EAI**, ICAR '97, Monterrey CA. July 7-9 1997.
- [Fernández, 02] Fernández C., Vicente M., Pérez C., Jiménez L., Payá L., **Aprendizaje en Teleoperación, Aplicación a los Procesos de Agarre de Objetos**, III Jornadas de Trabajo Enseñanza vía Internet / Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática, Alicante, 18-19 de Abril de 2002.
- [Ferre, 03] Ferre M., Aracil R., Navas M., Escalera J.A., **Real time Video Image Processing for Teleoperation: Image Blending and Stereoscopy**, ETFA '03. IEEE Conference Emerging Technologies and Factory Automation, Sept. 16-19, 2003.
- [Ferworn, 99] Ferworn A., Roque R., Vecchia I., **MAX: Wireless Teleoperation via the World Wide Web**, Proceedings of the 1999 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 1999.
- [Fiorini, 97] Fiorini P., Oboe R., **Internet-based telerobotics: problems and approaches**, Proceedings of the 8th International Conference on Advanced Robotics, 1997. ICAR '97.
- [Fitzpatrick, 99] Fitzpatrick T., **Live Remote Control of a Robot via the Internet**, IEEE Robotics and Automation Magazine, September 1999.
- [Fogle, 92] Fogle R. F., **The use of Teleoperators In Hostile Environment Applications**, Proceedings of the 1992, IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 1992.
- [Fong, 01] Fong T., Thorpe C., **Vehicle Teleoperation Interfaces**, Autonomous Robots 11, 2001 Kluwer Academic Publishers.

- [Fong, 03] Fong T., Thorpe C., Baur C., **Multi-robot remote driving with collaborative control**, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Aug. 2003.
- [Fung , 02] Fung W. K., Xi N., Lo W. T., Liu Y. H., **Improving efficiency of Internet based teleoperation using network QoS**, Proceedings of the ICRA '02. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002.
- [Fung , 03] Fung W. K., Xi N., Lo W. T., Liu Y. H., **Adaptive real-time Internet-based teleoperation systems for efficiency improvement using network QoS**, Proceedings of the 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2003.
- [Fung , 03b] Fung W. K., Xi N., Lo W. T., Liu Y. H., Elhajj I. H., **Task Driven Dynamic Qos based Bandwith Allocation for Real-time Teleoperation via the Internet**, Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ, International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- [García, 02] García C., Aracil R., Assandri A., Soria C., Carelli R., **Teleoperación de un Robot Industrial a Través de Internet**, III Jornadas de Trabajo Enseñanza vía Internet, Alicante, 18-19 de Abril de 2002.
- [Ghodoussi, 02] Ghodoussi M., Butner S. E., Yulun W., **Robotic Surgery – the Transatlantic Case**, ICRA '02. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002, 11-15 May 2002.
- [Gill, 04] Gill D. C., Smart W. D., **Middleware for Robots?**, <http://www.cs.wustl.edu/~wds/papers/aaaiss2002.pdf>, 20-01-2004.
- [Giralt, 02] Giralt X., Jofre D., Costa R., Basañez L., **Proyecto de Laboratorio Remoto de Automática: Objetivos y Arquitectura Propuesta**, III Jornadas de Trabajo Enseñanza vía Internet / Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática, Alicante, Abril de 2002.
- [Goldberg, 00] Goldberg K., Chen B., Solomon R., Bui S., Farzin B., Heitler J., Poon D., Smith G., **Collaborative Teleoperation via the Internet**, Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation, April 2000.
- [Goldberg, 95] Goldberg K., Mascha M., Genther S., Rothemberg N., **Desktop Teleoperation via the World Wide Web**, IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, 1995.
- [Grange, 00] Grange S., Fong T., Baur C., **Effective Vehicle Teleoperation on the World Wide Web**, Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation, April 2000.
- [Guzmán, 02] Guzmán J.L., Sarabia J.F., Rodríguez F., Moreno J.C., Berenguel M., **Entorno para Programación Remota de Robots Manipuladores en ACL con Realimentación Visual**, III Jornadas de Trabajo "Enseñanza vía Internet / Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática", Alicante, 18-19 de Abril de 2002.

- [Habib, 00] Habib M.K., **Collaborative teleoperation design requirements and development issues**, 26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2000. IECON 2000.
- [Hamel, 01] Hamel W. R., Murray P., **Observations Concerning Internet-based Teleoperations for Hazardous Environments**, Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 2001.
- [Hashimoto, 97] Hashimoto H., Manoroktul S., **Tele-Handshake through the Internet**, IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, 1997.
- [Hasunuma, 02] Hasunuma H., Kobayashi M., Moriyama H., Itoko T., Yanagihara Y., Ueno T., Ohya K., Yokoil K., **A tele-operated humanoid robot drives a lift truck**, 2002. Proceedings of the ICRA '02. IEEE International Conference on Robotics and Automation May 2002.
- [Hasunuma, 03] Hasunuma H., Kobayashi M., Moriyama H., Itoko T., Yanagihara Y., Ueno T., Ohya K., Yokoil K., **A tele-operated humanoid robot drives a backhoe**, Proceedings of the ICRA '03. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003.
- [Hirukawa, 97] Hirukawa H., Matsui T., Hirai S., **A Prototype of Standard Teleoperation Systems on an Enhanced VRML**, Proceedings of the IEEE/IROS Conference, 1997.
- [Hirzinger, 97] Hirzinger G., Brummer B., Koeppe R., Landzettel K., Vogel J., **Teleoperating Space Robots**, IEEE International Symposium on Industrial Electronics '97 Guimaraes, Portugal.
- [Hughes, 03] Hughes S., Manojlovich J., Lewis M., Gennari J., **Camera Control and Decoupled Motion for Teleoperation**, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2003, Oct. 5-8, 2003.
- [Hyeon, 99] Hyeon P.J., Chul C.H., **Sliding-Mode Controller for Bilateral Teleoperation with Varying Time Delay**, Proceedings of the 1999 IEEE/ASME, International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 1999.
- [Hyun, 02] Hyun C. C., Jong H. P., **Impedance Controller Design of Internet-based Teleoperation using Absolute Stability Concept**, International Conference on Intelligent Robots and System, 2002. IEEE/RSJ, 30 Sept.-5 Oct. 2002.
- [Jae, 03] Jae Nam L., Jae Pyung K., Jang L., **Internet-based Teleoperation of a Mobile Robot with Force-reflection**, Proceedings of 2003 IEEE Conference on Control Applications, 2003, June 23-25, 2003.
- [Jee, 02] Jee R., Dong K., Hannaford B., **Stable Teleoperation with Time Domain Passivity Control**, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002, 11-15 May 2002.
- [Jia, 01] Jia G., Chen G., Xie M., **Design of a novel compact dexterous hand for teleoperation**, Proceedings 2001 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and

- Automation, 2001.
- [Kheddar, 01] Kheddar A., **Teleoperation Based on the Hidden Robot Concept**, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Jan. 2001.
- [Khosla, 93] Papanikolopoulos N.P., Khosla P.K., **Using Control and Vision for Space Applications**, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1993
- [Kimura, 97] Kimura S., Okuyama T., **Teleoperation of Space Robots for Antenna Assembling Experiment on ETS-VII**, 4th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation for Space, 1997.
- [Kitts, 03] Kitts C., Quinn N., Ota J., Stang P., Palmintier B., **Development and Teleoperation of Robotic Vehicles**, 2nd AIAA "Unmanned Unlimited" Systems, Technologies and Operations Conference, San Diego, CA, September 2003.
- [Kress, 01] Kress R.L., Hamel W.R., Murray P., Bills K., **Control strategies for teleoperated Internet assembly**, Transactions on Mechatronics, IEEE/ASME, Dec. 2001.
- [Kwon, 98] Kwon D. S., Woo K. Y., Song K. S., Kim W. S., Cho H. S., **Microsurgical Telerobot System**, Proceedings of the 1998 IEEE/RSJ, International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 1998.
- [Lawrence, 93] Lawrence D. A., **Stability and Transparency in Bilateral Teleoperation**, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Oct. 1993.
- [Lee, 99] Lee W. H., Sanderson A C., **Dynamics and Distributed Control of Tetrobot Modular Robots**, Proceedings of the 1999, IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 1999.
- [Lelevé, 01] Lelevé A., Fraise P., Dauchez P., **Telerobotics over IP Networks: Towards a Low-level Real-time Architecture**, Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Oct 29 – Nov 03, 2001.
- [Leleve, 99] Leleve A., Fraise P., Dauchez P., Pierrot F., **Modeling and Simulation of Robotic Tasks Teleoperated through the Internet**, Proceedings of the 1999 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, September 1999.
- [Leung, 95] Leung G.M.H., Francis B.A., Apkarian J., **Bilateral controller for Teleoperators with Time Delay via μ -Synthesis**, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Feb. 1995.
- [Liu, 00] Liu Y., Chen C., Meng M., **A Study on the Teleoperation of Robot Systems via WWW**, International Conference on Robotics and Automation, IEEE, 2000.
- [Liu, 01] Liu P.X., Meng M.Q.-H., Gu J.J., **A study on the interface of the Internet-based teleoperation**, Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2001.

- [Liu, 01b] Liu P.X., Meng M.Q.-H., Gu J.J., **Adaptive scaling control for the Internet based teleoperation**, Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2001.
- [Lloyd, 97] Lloyd J., Beis S., Dinesh K., Pai D., **Model-based Telerobotics with Vision**, IEEE Proceedings of the 1997 International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque New Mexico, April 1997.
- [Love, 04] Love L.J., Book W.J., **Force Reflecting Teleoperation With Adaptive Impedance Control**, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Feb. 2004.
- [Lu, 03] Lu S.J., Ko C.C., Chen B.M., **Web-based Robot for Teleoperation**, The Fourth International Conference on Control and Automation, 2003. ICCA, June 10-12, 2003.
- [Lumelsky, 03] Lumelsky V., **Human-robot Interaction and Performance in Telerobotic Systems**, Proceedings. 2003 IEEE Aerospace Conference, 2003, March 8-15, 2003.
- [Luo, 00] Luo R.C., Chen T. M., Yih C.C., **Intelligent autonomous mobile robot control through the Internet**, Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2000. ISIE 2000.
- [Luo, 03] Luo R.C., Su K.L., Shen S.H., Tsai K.H., **Networked Intelligent Robots through the Internet: Issues and Opportunities**, Proceedings of the IEEE, March 2003.
- [Luo, 97] Luo R.C., Chen T.M., **Remote Supervisory Control of a Sensor Based Mobile Robot Via Internet**, Proceedings of the 1997 IEEE/IROS Conference, 1997.
- [Machida, 95] Machida K., Toda Y., Murase Y., Komada S., **Precise Space Telerobotic System Using 3-Finger Multisensory Hand**, IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, 1995.
- [Mahtani, 03] Mahtani R., Béjar M., Cuesta F., Ollero A., Huertas J. L., **Prototipo de la Estación de Teleoperación del Instrumento TRIBOLAB en la Estación Espacial Internacional**, XXIV Jornadas de Automática - JA 2003. León, 10-12 Septiembre 2003.
- [Marin, 02] Marin R., Sanz P.J., Sanchez J.S., **A very high level interface to teleoperate a robot via Web including augmented reality**, Proceedings of the ICRA '02. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002.
- [Marin, 02] Marin R., Vila P., Sanz P.J., Marzal A., **Automatic Speech Recognition to Teleoperate a Robot Via Web**, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, 2002, 30 Sept.-5 Oct. 2002.
- [Mascha, 00] Mascha M., Rothenberg N., **The Mercury Project: A feasibility study for Internet Robots**, IEEE Robotics and Automation Magazine, March 2000.

- [McKee, 01] McKee G., **Online Robot Educational Environments**, IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, 2001.
- [Mirfakhrai, 02] Mirfakhrai T., Payandeh S., **A Delay Prediction Approach for Teleoperation Over the Internet**, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002, 11-15 May 2002.
- [Monferrer, 02] Monferrer A., Bonyuet D., **Cooperative Robot Teleoperation through Virtual Reality Interfaces**, 6th Intl. Conf. on Information Visualization, IEEE, July 10 – 12 2002 , London, England.
- [Monteiro, 97] Monteiro F., Rocha P., Menezes P., Silve A., Dias J., **Teleoperating a Mobile Robot**, IEEE/ISIE 1997.
- [Nagahara, 03] Nagahara H., Yagi Y., Kitamura H., Yachida M., **Super Wide View Tele-operation System**, Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 30 July-1 Aug. 2003.
- [Niemeyer, 98] Niemeyer G., Slotine J. J., **Towards Force-Reflecting Teleoperation Over the Internet**, Proceedings of the 1998 IEEE, International Conference on Robotics and Automation, May 1998.
- [Nohmi, 03] Nohmi M., **Space Teleoperation using Force Reflection of Communication Time Delay**, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2003., Oct. 27-31, 2003.
- [Noriaki, 01] Noriaki A., Korondi P., Hashimoto H., **Development of Macromanipulator and Haptic Interface for Networked Micromanipulation**, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, December 2001.
- [Oboe, 99] Oboe R., Piovan S., **Sensorless Force Reflecting Teleoperation for Low cost Web-Interfaced Systems**, IEEE/ISIE 1999.
- [Ollero, 01] Ollero B. A., **Robótica; manipuladores y robots móviles**, Editorial Alfaomega-marcombo, 2001.
- [Otmane, 00] Otmane S., Mallem M., Kheddar A., Chavand F., **Active virtual guides as an apparatus for augmented reality based telemanipulation system on the Internet**, Proceedings of the 33rd Annual Simulation Symposium, 2000.
- [Park, 01] Park J. W., Kim C. D., Lee J. M., **Concurrent bilateral teleoperation over the Internet**, Proceedings of the ISIE 2001 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2001.
- [Parra, 03] Parra V. V., Ruiz S. F., **Interacción Multilateral vía Internet II con Robots Cooperativos**, Convocatoria 2003 CUDI (Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet) –CONACYT, Desarrollo de Aplicaciones Avanzadas sobre Internet 2.
- [Parrish, 00] Parrish J., Sullivan B., Roberts B., **Planning for the RANGER Telerobotic Shuttle Experiment On-Orbit Operations**, American Institute of Aeronautics and Astronautics Paper 2000-5291.

- [Pedreño, 02] Pedreño J. L., Guerrero A., López J., **Módulo de Teleoperación para Acceso vía Internet a Dispositivos Robóticos en Laboratorios Remotos**, III Jornadas de Trabajo "Enseñanza vía Internet / Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática", Alicante, 18-19 de Abril de 2002.
- [Penin, 00] Penin L.F., Matsumoto K., Wakabayashi S., **Force Reflection for Time-delayed Teleoperation of Space Robots**, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2000, 24-28 April 2000.
- [Pernaleté, 02] Pernaleté N., Wentao Y., Dubey V., Moreno A., **Augmentation of Manipulation Capabilities of Persons with Disabilities using Scaled Teleoperation**, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, 2002, 30 Sept.-5 Oct. 2002.
- [Peters, 03] Peters R.A., Campbell C.L., Bluethmann W.J., Huber E., **Robonaut Task Learning through Teleoperation**, ICRA '03. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003.
- [Rovetta, 00] Rovetta A., **Telerobotic Surgery Control and Safety**, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2000, 24-28 April 2000.
- [Rovetta, 90] Rovetta A., Wen X., **Integrated Robot for Space Teleoperation**, IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems '90. 'Towards a New Frontier of Applications', 3-6 July 1990.
- [Sabater, 02] Sabater J., Azorín J., García N., Ñeco R., Reinoso O., **Análisis de Colisiones en un Simulador Dinámico de Tareas de Teleoperación**, III Jornadas de Trabajo Enseñanza vía Internet / Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática, Alicante, 18-19 de Abril de 2002.
- [Safaric, 03] Safaric R., Sinjur S., Zalik B., Parkin R.M., **Control of Robot Arm with Virtual Environment Via the Internet**, Proceedings of the IEEE, March 2003.
- [Safaric, 99] Safaric R., Jezernik K., Calkin D.W., Parkin R.M., **Telerobot Control via Internet**, Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 1999. ISIE '99.
- [Salcudean, 97] Salcudean S., Tafazoli S., Lawrence P., Chau I., **Impedance Control of a Teleoperated Mini Excavator**, ICAR '97, Monterrey CA., July 7-9 1997
- [Salcudean, 98] Salcudean S., Hashtrudi-Zaad K., Tafazoli S., DiMilano S. P., Reboulet C., **Bilateral Matched Impedance Teleoperation with Application to Excavator Control**, Proceedings of the 1998IEEE International Conference on Robotics and Automation, Belgium, May 1998.
- [Salichs, 02] Salichs M., Khamis A., Rodríguez F., Rivero M., **Laboratorio a Distancia vía Internet en Robótica Móvil**, III Jornadas de Trabajo Enseñanza vía Internet / Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática, Alicante, 18-19 de Abril de 2002.

- [Sánchez, 00] Sánchez F., Gonzalez J., **Bases y Desarrollos Iniciales para el uso de la Teleoperación en Cirugía Cardíaca**, diciembre del 2000. UPM, Facultad de Informática.
- [Sauer, 02] Sauer P., Kozlowski K., Waliszewski W., Hildebrant T., **Telerobotic simulator in minimal invasive surgery**, Proceedings of the Third International Workshop on Robot Motion and Control, 2002.
- [Sayers, 98] Sayers C. P., Paul R. P., Whitcomb L., Yoerger D. R., **Teleprogramming for Subsea Teleoperation Using Acoustic Communication**, IEEE Journal of Oceanic Engineering, January 1998.
- [Schilling, 02] Schilling K.J., Vernet M.P., **Remotely controlled experiments with mobile robots**, Proceedings of the Thirty-Fourth Southeastern Symposium on System Theory, 2002.
- [Schilling, 97] Schilling K., Roth H., Lieb R., **Teleoperations of Rovers –From Mars to Education–**, Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 1997. ISIE '97.
- [Schulz, 99] Schulz D., Burgard W., Cremers A., **Robust Visualization of Navigation Experiments with Mobile Robots over the Internet**, Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1999.
- [Sgouros, 02] Sgouros N.M., Gerogiannakis S., **Integrating WAP-based wireless devices in robot teleoperation environments**, Proceedings of the ICRA '02. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002.
- [Sheridan, 93] Sheridan T.B., **Space Teleoperation through Time Delay: Review and Prognosis**, Transactions on Robotics and Automation, IEEE, Volume: 9 , Issue: 5 , Oct. 1993.
- [Sian, 02] Sian N., Yokoi K., Kajita S., Kanehiro F., Tanie K., **Whole Body Teleoperation of a Humanoid Robot; Development of a Simple Master Device using Joysticks**, Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, Lausanne, Switzerland • October 2002.
- [Suzuki, 97] Suzuki T., Fujii T., Yokota K., Asama H., Kaetsu H., Endo I., **Teleoperation of Multiple Robots through Internet**, IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, 1997.
- [Tan, 00] Tan J. C., Clapworthy G.J., **Internet-based teleoperation using VE modelling based on single images**, Proceedings of the IEEE International Conference on Information Visualization, 2000.
- [Taylor, 00] Taylor K., Dalton B., **Internet Robots: A new robotics niche**, IEEE Robotics and Automation Magazine, March 2000.
- [Taylor, 03] Taylor R.H., Stoianovici D., **Medical Robotics in Computer-Integrated Surgery**. IEEE Transactions on Robotics and Automation, Oct. 2003.

- [Taylor, 97] Taylor K., Dalton B., **Issues in Internet Telerobotics**, International Conference on Field and Service Robotics, December 1997.
- [Tomizawa, 02] Tomizawa T., Ohya A., Yuta S., **Book browsing system using an autonomous mobile robot teleoperated via the internet**, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, 2002.
- [Tomizawa, 03] Tomizawa T., Ohya A., Yuta S., **Remote book browsing system using a mobile manipulator**, Proceedings of the ICRA '03. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003.
- [Tsumaki, 00] Tsumaki Y., Goshozono T., Abe K., Uchiyama M., Koeppe R., Hirzinger G., **Verification of an Advanced Space Teleoperation System using Internet**, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2000, Volume: 2, Nov. 2000.
- [Tsumaki, 96] Tsumaki Y., Uchiyama M., **Predictive Display of Virtual Beam for Space Teleoperation**, Proceedings of the 1996 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- [Tsumaki, 97] Tsumaki Y., Uchiyama M., **A Model-based Space Teleoperation System with Robustness against Modeling errors**, Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 20-25 April 1997.
- [Utsumi, 02] Utsumi M., Hirabayashi T., Yoshie M., **Development for Teleoperation Underwater Grasping System in Unclear Environment**, Proceedings of the 2002 International Symposium on Underwater Technology, 2002, 16-19 April 2002.
- [Vertut, 85] Vertut J., Coiffet P., **Les Robots; Téléopération, assistée par ordinateur**, Editions Hermes, Paris, 1985.
- [Vertut, 85b] Vertut J., Coiffet P., **Les Robots; Téléopération, évolution des technologies**, Editions Hermes, Paris, 1985.
- [Wolf, 97] Wolf H., Froitzheim K., **WebVideo a Tool for WWW-Based Teleoperation**, IEEE/ISIE 1997.
- [Woo, 01] Woo Y., Goshozono T., Kawabe H., Kinami M., Tsumaki Y., Uchiyama M., Oda M., Doi T., **Model-based Teleoperation of a Space Robot on ETS-VII using a Haptic Interface**, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2001.
- [Yoerger, 87] Yoerger D., Slotine J.-J., **Supervisory Control Architecture for Underwater Teleoperation**, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Mar 1987.
- [Zeus, 04] <http://www.computermotion.com>, última visita, 20, 02 – 2004.
- [Zhang, 01] Zhang J.J., Ge Y.J., **Research on the control architecture of teleoperation based on intelligent sensing network**, Proceedings of the ICII 2001 - Beijing. 2001 International Conferences on Info-tech and Info-net, 2001.