

DETECCIÓN, MEDIANTE UN GUANTE SENSORIZADO, DE MOVIMIENTOS SELECCIONADOS EN UN SISTEMA ROBOTIZADO COLABORATIVO PARA HALS

Lidia Santos, José L. González, Eusebio de la Fuente, Juan C. Fraile, Javier P. Turiel.
ITAP - Instituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción, Universidad de Valladolid.
lidia.santos@uva.es ; {jossan, efuente, jcfraile, turiel}@eii.uva.es

Resumen

El uso de robots ha permitido importantes progresos en el campo de la cirugía laparoscópica convencional. Sin embargo, se ha prestado poca atención a la cirugía laparoscópica asistida a mano, una cirugía en la que el cirujano introduce la mano no dominante en el abdomen del paciente. El riesgo de colisión entre la mano del cirujano y la herramienta movida por el robot es un problema que ha de abordarse.

También ha habido un creciente interés en los wearables, lo que nos lleva a la aplicación de un guante sensorizado que colabora con un robot en este tipo de cirugía. El objetivo de este trabajo es analizar la información proporcionada por un guante sensorizado de los movimientos de la mano del cirujano para determinar las acciones que llevará a cabo el robot colaborativo.

La inclusión de un guante quirúrgico sensorizado en cirugía laparoscópica asistida por la mano (Hand Assisted Laparoscopic Surgery, HALS) dentro de un sistema colaborativo robotizado permitiría enviar información sobre movimientos específicamente seleccionados realizados por la mano del cirujano durante la intervención. Para ello han de definirse de forma unívoca ciertos movimientos de la mano que se han de identificar online para que el robot colaborativo realice las actividades pertinentes.

Palabras Clave: HALS (Hand Assisted Laparoscopic Surgery), cirugía laparoscópica asistida por la mano, guante de datos sensorizado, *wearable*, patrones de movimiento, sistema colaborativo.

1 INTRODUCCIÓN

La cirugía laparoscópica asistida por la mano (Hand Assisted Laparoscopic Surgery, HALS) es un tipo de cirugía laparoscópica en la que el cirujano introduce su mano no dominante en la cavidad abdominal del paciente, recuperando así el sentido del tacto y las habilidades para suturar y diseccionar con la mano, las cuales se habían perdido con la cirugía laparoscópica

tradicional [16] y dotando a esta cirugía de las ventajas de la cirugía abierta convencional y la cirugía laparoscópica [1, 7, 10, 15, 16]. La cirugía laparoscópica ha ido evolucionando e incluyendo nuevas herramientas para aportar una mayor estabilidad y precisión en los movimientos de los endoscopios [2, 3, 17], como la utilización de brazos quirúrgicos como el robot Da-Vinci o robots asistentes semiautónomos [4, 11]. También ofrece ventajas frente a la laparotomía como son hospitalizaciones más cortas, incisiones más pequeñas y menos pérdidas de sangre [5, 9].

Por otro lado, el creciente desarrollo de guantes sensorizados ha propiciado su utilización en diferentes ámbitos que abarcan desde la rehabilitación hasta la interpretación de la lengua de signos. [6]. Se propone, por tanto, la utilización de un guante sensorizado por parte del cirujano en operaciones de cirugía laparoscópica.

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación cuyo objetivo principal es el desarrollo de un sistema robotizado colaborativo para cirugía laparoscópica asistida por la mano. Como parte de este proyecto se considera el desarrollo e integración en el sistema de un guante quirúrgico sensorizado y un sistema de visión artificial. Para ello, se propone mejorar la funcionalidad del guante del cirujano, incluyendo diferentes sensores para la captación de la posición de la mano pudiendo así realizar operaciones en colaboración con robots quirúrgicos mediante un sistema colaborativo robotizado.

En cada instante, el guante quirúrgico sensorizado obtendrá la posición de la mano, que se define como la postura que adopta, es decir, el grado de flexión de cada dedo. A su vez, el sistema de visión determinará la localización de la punta de los dedos respecto a un eje de referencia determinado.

Los datos de posición y localización se utilizarán tanto para evitar colisiones con herramientas laparoscópicas, así como para generar un entorno de realidad aumentada con los datos de la cavidad abdominal del paciente y la mano del cirujano.

Por ello, en este artículo se plantea su utilización para la comunicación con un robot colaborativo en una cirugía laparoscópica asistida por la mano. Se espera que el sistema reconozca la fase actual de la intervención mediante la identificación de los movimientos de la mano del cirujano. Con esta información, los brazos robóticos actuarán de forma colaborativa con el cirujano y le asistirán con la herramienta articulada y ubicando el endoscopio y los mini-robots en las localizaciones adecuadas para proporcionar una visión completa y adecuada del campo quirúrgico, permitiendo realizar la cirugía con seguridad y precisión.

Para llevarlo a cabo se ha utilizado un guante de datos para poder analizar *online* los movimientos realizados por la mano que el cirujano introduce durante la operación en la cavidad abdominal del paciente. Se han definido diferentes movimientos teniendo en cuenta los movimientos que se realizan con la mano a analizar durante una cirugía HALS [13]. Dichos movimientos definidos no han de confundirse con movimientos realizados comúnmente durante la operación y servirán para generar comandos que, a través del sistema de control global, serán enviados al robot colaborativo para su ejecución durante la operación.

El guante sensorizado se ha considerado como un instrumento ideal para medir la cinemática de la mano en aplicaciones tales como la rehabilitación, la realidad virtual, la actuación musical, los videojuegos, la teleoperación y la robótica [6, 8, 12, 14].

En este estudio se ha usado un guante comercial, 5DT Data Glove, de 5 sensores, que se caracteriza por la utilización de sensores basados en fibra óptica con una resolución A/D de 12 bits. Viene provisto con un terminal USB para realizar la conexión con un PC por lo que se elimina la necesidad de una fuente de alimentación externa. El guante de 5 sensores posee un sensor por dedo por lo que proporciona un único dato para definir la posición de cada dedo colocado según podemos ver en la Figura 1.



Figura 1: Posición de los sensores en el guante 5DT de 5 sensores.

El programa de gestión del guante detecta el puerto USB en el que está conectado y comienza la inicialización del guante en la que se recogen los

valores del tipo de mano (derecha o izquierda) y el tipo de guante dependiendo del número de sensores que tiene. Posteriormente el guante pasa a la toma y envío de datos con los valores de los 5 sensores con una frecuencia de muestreo de 75 Hz.

Usando este guante, se han definido varios movimientos de la mano, con un significado específico, que puede realizar el cirujano durante una HALS, y se ha desarrollado un algoritmo para su detección. Los movimientos definidos anteriormente no se deben confundir con los movimientos realizados comúnmente durante la operación. Se enviarán a un sistema de reconocimiento y gestión global para generar los comandos pertinentes que se enviarán al robot colaborativo para su ejecución durante la cirugía.

En este artículo se comentarán los resultados referidos a un movimiento seleccionado como ejemplo.

2 DEFINICIÓN DE MOVIMIENTO A DETECTAR

Los movimientos seleccionados no corresponden a gestos estáticos de la mano sino a gestos dinámicos, e intencionados, que van a tener un significado en el sistema, en relación con los comandos que el cirujano desea enviar al robot colaborativo en el curso de la operación quirúrgica. Dado que tienen un significado concreto, han de definirse previamente según un perfil. Cuando el cirujano realiza el movimiento, éste se ejecutará en un intervalo como una secuencia de posiciones que toma la mano, siendo capturadas por los sensores del guante e identificados por un algoritmo que reconoce el movimiento por comparación con el patrón. La velocidad a la que se realizan los movimientos a identificar es mayor que el resto de los realizados durante la operación. En la figura 2 se muestran las posiciones inicial y final de un movimiento específico seleccionado como ejemplo en este artículo y que se puede interpretar como un comando de acercamiento de la herramienta laparoscópica.

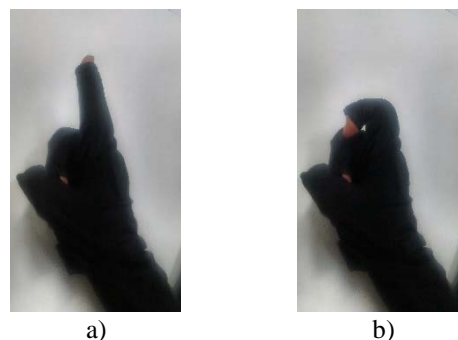


Figura 2: Posiciones inicial, a), y final, b), del movimiento seleccionado como ejemplo.

La posición a), con el dedo índice extendido, pasaría a la posición b), flexionando el dedo. Posteriormente se volvería a la posición a), extendiendo el dedo índice. Se considera que el movimiento se ha realizado cuando se detecte la secuencia a-b-a-b-a. El ciclo completo podría repetirse varias veces. El resto de los dedos de la mano permanecen quietos, por lo que su posición a lo largo del movimiento no cambia significativamente.

3 TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO

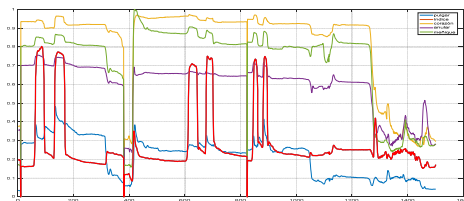


Figura 3: Captura de datos de los sensores del guante

La figura 3 muestra una captura típica de datos de los sensores del guante asociados a los dedos de la mano. El eje de abscisas representa el tiempo y el de ordenadas, entre 0 y 1, muestra la flexión del sensor correspondiente, con valores bajos, cercanos a 0 cuando está flexionado, y con valores altos, cercanos a 1, cuando está extendido. Pueden observarse, siguiendo la línea roja correspondiente a la señal del dedo índice, que el ciclo completo del movimiento definido previamente se ha repetido, aparentemente, tres veces.

En el análisis de los datos se ha de tener en cuenta cómo se realiza el movimiento, tanto en recorrido de flexión/expansión de los dedos involucrados como en velocidad, para que no se confunda con movimientos realizados de manera accidental.

El primer paso consiste en la caracterización del movimiento seleccionado para generar las ordenes que serán enviadas al robot colaborativo. En la Figura 4 se representa el movimiento seleccionado. Para su análisis y caracterización se ha de tener en cuenta: el valor de flexión proporcionado por el guante y proporcional a la flexión del sensor y por tanto del dedo correspondiente (Figura 4), la velocidad a la que se realiza (Figura 5), y el tiempo en el que se lleva a cabo. Por ello habrá que definir unos parámetros característicos que variarán según el tipo de movimiento y la persona que lo realiza, lo que hace necesario un aprendizaje previo, para cada persona y cada movimiento, que permita su parametrización.

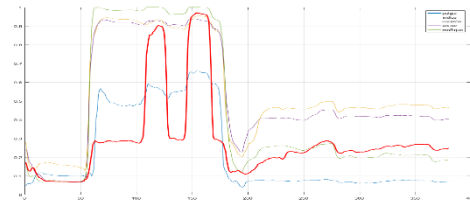


Figura 4: Gráfica con los valores proporcionados por el guante de datos durante la realización del movimiento seleccionado.

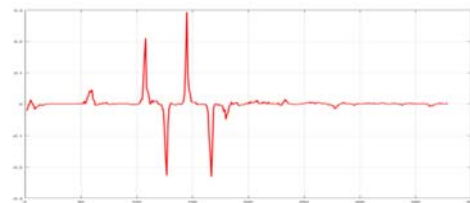


Figura 5: Gráfica de la velocidad del dedo índice durante la realización del movimiento.

Analizando la velocidad (Figura 5) podemos observar cuándo se realizan movimientos a una velocidad mayor que los movimientos realizados de forma involuntaria. Según sea negativa o positiva la velocidad, podemos saber si el dedo está realizando un movimiento de apertura o de cierre. Estas velocidades servirán como umbral para que el algoritmo desarrollado considere que se está realizando un moviendo.

Observando las gráficas obtenidas al realizar el movimiento seleccionado, podemos diferenciar movimientos de cierre y apertura, flexión/expansión de los dedos, coincidiendo respectivamente con los descensos y ascensos en la gráfica.

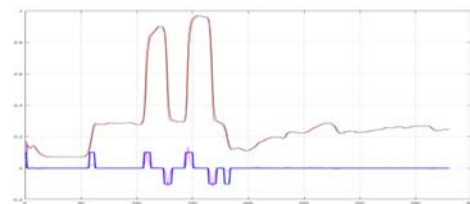


Figura 6: Gráfica con los valores proporcionados por el guante de datos durante la realización del movimiento seleccionado, correspondiente al dedo índice.

4 DEFINICIÓN DE PATRONES DE MOVIMIENTO

Para obtener el patrón de cada movimiento se ha tenido en cuenta los dedos involucrados, la velocidad de los movimientos y el carácter en sí del movimiento (flexión o extensión).

Hallando las características particulares de cada movimiento definido en el protocolo, podemos crear un patrón para su identificación.

Teniendo en cuenta la velocidad consideramos sólo si el dedo está en movimiento o no. Tenemos que considerar la velocidad a la que se realizan los movimientos para no confundir los movimientos definidos con otros realizados durante la operación.

El análisis de la velocidad es importante ya que no sólo analizamos la posición inicial y final del movimiento, sino que también buscamos analizar cómo se llega de la una a la otra. Con ello nos aseguramos de que el movimiento se realiza de manera precisa, conscientemente, y no es debido a diferentes posiciones que adoptará la mano del cirujano durante la intervención.

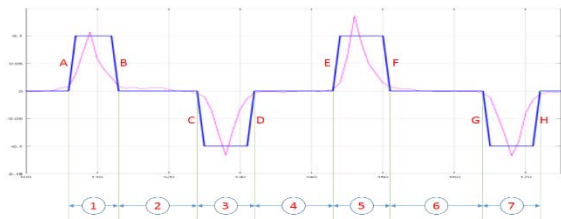


Figura 7. Caracterización del patrón de movimiento seleccionado

Para obtener los parámetros característicos del movimiento definido, se tiene en cuenta varias tomas del mismo movimiento realizado por la misma persona. La Figura 7 muestra el patrón del movimiento seleccionado. Se consideran 7 intervalos delimitados por flancos ascendentes o descendentes de la curva de velocidad (curva rosa) cuando sobrepasan un cierto valor de umbral. Para que el movimiento se considere realizado, se han de detectar los 7 intervalos, así como que los valores de la señal, correspondiente a flexión/expansión completa, alcancen unos valores que dependen de la persona que realiza el movimiento.

Para cada uno de los 7 intervalos se define un rango de valores, que también serán propios de cada persona. La forma de caracterizarlos consiste en realizar múltiples repeticiones del movimiento, tras un aprendizaje, y calcular la media y desviación típica de cada intervalo.

5 DETECCIÓN DE PATRONES

El algoritmo desarrollado analiza los valores de cada sensor buscando los patrones definidos de cada movimiento que se defina.

Comparando el valor actual del guante respecto del valor en el instante anterior podemos deducir si el

dedo en cuestión está flexionándose, estirándose o permanece en la misma posición. Con la comparación de dichos valores y teniendo en cuenta el tiempo, podemos obtener la velocidad con la que se está realizando el movimiento del dedo.

Se han definido umbrales para evitar que no se consideren como movimiento pequeñas oscilaciones.

Lo primero que hace el algoritmo es catalogar el movimiento de cada dedo como flexión, extensión o paro analizando el valor de cada sensor con el valor en el instante anterior. Para que se considere movimiento debe superar un umbral para evitar catalogar de forma errónea una oscilación del dedo como un movimiento.

Dos consideraciones: una para considerarse movimiento respecto con el valor anterior y otra estar el tiempo suficiente como para considerarlo el movimiento definido.

El algoritmo analiza los valores del sensor para detectar algún sub-movimiento perteneciente a los movimientos que se definan. Una vez que detecta un sub-movimiento, lo cataloga como posible parte de un movimiento y sigue analizando los valores para confirmar o no si se realizan todos los sub-movimientos que definen el posible movimiento a detectar.

Si no hay confirmación, sigue buscando sub-movimientos que puedan corresponder con el inicio de algún movimiento.

El algoritmo para la detección de movimientos analizará las velocidades a la que se están moviendo los dedos para detectar si puede considerarse parte de alguno de ellos.

6 PRUEBAS

Las pruebas realizadas están relacionadas con la definición y detección de movimientos, así como con la precisión de la detección de los mismos.

En la Figura 7 se muestra una captura de datos del guante para la prueba de detección del movimiento seleccionado. En el eje de ordenadas no se representa el valor real de los datos medidos por los sensores, que está entre 0 y 1, sino que se ha separado la representación de cada sensor, aunque a escala, para facilitar la interpretación. Se observa que, aunque el dedo índice es el que se mueve intencionadamente para reproducir el movimiento, el resto de los dedos siguen movimientos no intencionados. Se ha de tener en cuenta que el movimiento de los dedos no es completamente independiente, sino que el movimiento intencionado de unos, por ejemplo, el

índice, conlleva un movimiento no intencionado de otros, como se refleja en la figura 8:

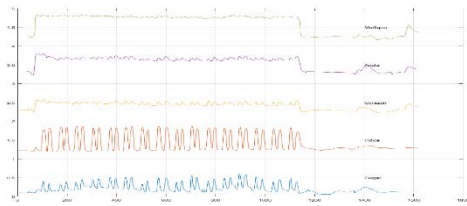


Figura 8: Captura de datos del guante en prueba de movimiento

Como se puede ver en la Figura 8, el movimiento seleccionado se ha reproducido, aparentemente, 16 veces. En la Figura 9 se representan los datos correspondientes al sensor del dedo índice, así como las líneas de velocidad y de seguimiento del patrón caracterizado en la figura 6. Se observa que, en realidad, el movimiento se ha detectado en 14 ocasiones, representado con asteriscos verdes en la curva del patrón, y en dos ocasiones ha fallado la detección, debido a que los datos no concuerdan con los parámetros que definen el patrón de movimiento. En concreto, alguna de las siguientes razones: que el nivel los datos correspondientes a la flexión del dedo índice alcance un valor inferior a 0.3 y en el caso de la expansión sobrepase el valor de 0.7, que se siga el perfil de movimiento, o que las duraciones temporales de cada intervalo, estén dentro de los rangos que se definan para la persona que realiza el movimiento, es decir, a partir de los valores medios y desviación típica de cada intervalo temporal tras múltiples repeticiones intencionadas del movimiento.

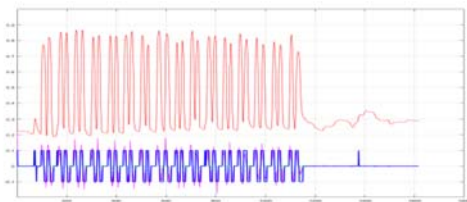


Figura 9: Datos correspondientes al dedo índice y seguimiento del patrón de movimiento

En los experimentos realizados con el guante, el algoritmo desarrollado permite detectar el movimiento definido entre varios movimientos realizados. Lógicamente, para ser identificados con el patrón, los movimientos ejecutados por el cirujano deben comenzar y terminar con posiciones similares a las de los patrones y no incluir movimientos intermedios extraños.

La identificación de estos movimientos no sólo se basa en las posiciones inicial y final a sí mismo, sino que las posiciones y velocidades se analizan en cada momento para determinar si conforman un patrón similar al del modelo. Esto permite analizar patrones

con más información y que se pueden identificar de una forma mucho más confiable evitando errores en aquellas situaciones donde las posiciones son similares pero la velocidad de ejecución de la maniobra es muy diferente.

7 CONCLUSIONES

En este artículo, se ha considerado el uso de un guante sensorizado que incorpora 5 sensores, uno por cada dedo, para su uso en cirugía laparoscópica asistida por la mano (HALS). El objetivo ha consistido en identificar el proceso que el cirujano está llevando a cabo en cada momento y, por tanto, poder enviar automáticamente los comandos pertinentes a un robot colaborativo. Las características de los movimientos de los dedos han sido estudiadas desde la posición inicial hasta la final en las operaciones / maniobras contempladas. Estos patrones se han unido al algoritmo de detección y ha permitido obtener un sistema que ha demostrado ser muy efectivo en la discriminación de este primer conjunto de movimientos considerados.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, a través del subproyecto: "Sensorized HALS. Entorno sensorizado para cirugía laparoscópica asistida por la mano", definido dentro del proyecto coordinado "Sistema robotizado colaborativo para cirugía laparoscópica asistida por la mano". DPI2013-47196-C3-3-R.

Referencias

- [1] Aalbers G. J., Doeksen a, Van Berge M. I. Henegouwen, Bemelman W., (2010) "Hand-assisted laparoscopic versus open approach in colorectal surgery: a systematic review", *Colorectal Dis.*, vol. 12, no. 4, pp. 287–295.
- [2] Bauzano, E., (2013) "A minimally invasive surgery robotic assistant for HALS-SILS techniques", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 112:2, Nov. 2013, pp. 272-283.
- [3] Bauzano, E., Garcia-Morales, I., del Saz-Orozco, P., Fraile, J.C., Muñoz, V.F., (2014) "Robot collaborative assistance for suture procedures via minimally invasive surgery", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 252, pp. 255-269.
- [4] Da Vinci Surgery: Minimally Invasive Surgery. <http://www.davincisurgery.com/> (28 abril 2017)

- [5] Ding J., Xia Y., Liao G., Zhang Z., Liu S., Zhang Y., Yan Z. (2014) "Hand-assisted laparoscopic surgery versus open surgery for colorectal disease: a systematic review and meta-analysis," *The American Journal of Surgery*, vol. 207, no. 1, pp. 109–119
- [6] Dipietro, L., Sabatini, A.M., Dario, P. (2008) "A survey of glove-based systems and their applications", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 38:4, pp 461-482.
- [7] Jayne D.G., Thorpe H.C., Copeland J., Quirke P., Brown J.M., Guillou P. J., (2010) "Five-year follow-up of the Medical Research Council CLASICC trial of laparoscopically assisted versus open surgery for colorectal cancer," *Br. J. Surg.*, vol. 97, no. 11, pp. 1638–1645.
- [8] LaViola, J.J. (1999), "A survey of hand posture and gesture recognition techniques and technology". Brown Univ. Providence. RI.
- [9] Leraas H. J., Ong C. T., Sun Z., Adam M. A., Kim J., Gilmore B. F., Ezekian B., Nag U. S., Mantyh C. R., Migaly J. (2017) "Hand-Assisted Laparoscopic Colectomy Improves Perioperative Outcomes Without Increasing Operative Time Compared to the Open Approach: a National Analysis of 8791 Patients", *J Gastrointest Surg.* 21:4, pp. 684-691
- [10] Nakajima K., Lee S. W., Cocilovo C., Foglia C., Sonoda T., Milsom J. W., (2004) "Laparoscopic total colectomy: Hand-assisted vs standard technique," *Surg. Endosc. Other Interv. Tech.*, vol. 18, no. 4, pp. 582–586.
- [11] Proyecto BROCA. <http://www.proyecto-broca.es> (28 abril 2017)
- [12] Sánchez-Margallo, F. M.; Pérez-Duarte, F. J.; Sánchez-Margallo, J. A.; Lucas-Hernández, M.; Matos-Azevedo, A. M.; Díaz-Güemes, I. (2014) "Application of a motion capture data glove for hand and wrist ergonomic analysis during laparoscopy". *Minim. Invasive Ther. Allied Technol.* 23,pp. 350–356.
- [13] Shiozaki A., et al. (2017) "Hand-assisted technique beneficial for laparoscopic transhiatal esophagectomy with en-bloc dissection of middle and lower mediastinal lymph nodes: roles of the operator's left hand", *Esophagus*, 14: 2, pp 138–145
- [14] Sturman, D. J.; Zeltzer, D. (1994) "A Survey of Glove-based Input", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 14, pp. 30–39.
- [15] Swanson T. W., Meneghetti A. T., Sampath S., Connors J. M., and Panton O. N. M, (2011) "Hand-assisted laparoscopic splenectomy versus open splenectomy for massive splenomegaly: 20-Year experience at a Canadian centre," *Can. J. Surg.*, vol. 54, no. 3, pp. 189–193.
- [16] Targarona, E.M., Gracia, E., Garriga, J., Martínez-Bru, C., Cortés, M., Boluda, R., Lerma, L., Trías, M., (2002) "Prospective randomized trial comparing conventional laparoscopic colectomy with hand-assisted laparoscopic colectomy: Applicability, immediate clinical outcome, inflammatory response, and cost", *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, 16:2, pp. 234-239.
- [17] Taylor, R.H., Funda, J., Eldridge, B., Gomory, S., Gruben, K., LaRose, D., Talamini, M., Kavoussi, L., Anderson, J., (1995) "A telerobotic assistant for laparoscopic surgery", *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 14:3, pp. 279-288.