

Controladora de comportamientos para silla de ruedas autónoma basada en lógica fuzzy como complemento a exoesqueletos.

Agustín Farías

Monografía vinculada a la conferencia de Daniel Larrosa titulada: “Exoesqueleto en rehabilitación: ideas para investigación y su aplicación en Uruguay”, con fecha 7 de abril de 2015.

javier.farias@fing.edu.uy

Resumen.

La creación de exoesqueletos para la rehabilitación y entrenamiento de personas ha despertado interés desde hace años. Por otra parte las sillas de ruedas autónomas pueden verse como una tecnología complementaria, indicada para casos en los que la primera no lo es. En particular los casos de estudio de sillas de ruedas autónomas incluyen modelos jerárquicos y reactivos. Un caso particular de este es el planteado por Zal, Chen et al., que describe una silla basada en la arquitectura subsumption propuesta por Brooks, y utiliza fuzzy logic en sus controladores para conseguir movimientos más suaves y una mejor respuesta en entornos dinámicos. Si bien, en comparativa, tanto los exoesqueletos como las sillas autónomas y semi-autónomas poseen ventajas y desventajas respecto a la otra, de las segundas se tienen en mayoría prototipos, y un par de opciones comerciales, una de las cuales está discontinuada. Esto se debe a la falta de un plan de negocios que haga viable su comercialización, por los costos de fabricación.

1. Introducción

A lo largo de estos años varios investigadores han incursionado en el campo de la robótica para la creación de exoesqueletos, que asistan tanto a la rehabilitación como a las actividades diaras de las personas con discapacidades [1]–[5]. Por otra parte, el costo de este tipo de dispositivos hace que no sea accesible a todos los posibles usuarios finales [6]. Además, para algunas personas este tipo de tecnología podría no ser apropiada, al menos sin adaptaciones especiales (por ejemplo en el caso de personas con discapacidades severas).

El presente artículo introduce a las sillas de ruedas robóticas, una tecnología que bien puede verse como complementaria en ese sentido [7]–[9]. El mismo describe el trabajo realizado en [8]: La sección 2.1 comenta - sin entrar en detalles - el estado del arte previo al trabajo de los autores. La sección 2.2 introduce la arquitectura del sistema de control. La sección 2.3 introduce el sistema de control basado en lógica fuzzy. Finalmente, la sección 3 realiza una comparativa de la utilización de sillas de ruedas robóticas y exoesqueletos en rehabilitación y recuperación de movilidad.

2. Descripción del trabajo analizado

2.1. Breve descripción del estado del arte

El artículo que se analiza da varios ejemplos de desarrollos de sillas de ruedas, tanto con control autónomo como semi-autónomo, como por ejemplo el mencionado en [10]. En este Seki, Kobayashi, et al. proponen tres tipos de navegación: “Modo de transferencia automática”, el que implica total autonomía de la silla de ruedas; “Modo de operación asistida”, en el que el usuario indica la dirección en la que desea moverse; y “Modo selectivo semi-automático”, donde el usuario selecciona un conjunto de puntos a través de los cuales la silla debe pasar, y ella se mueve de manera autónoma hasta cada uno de ellos.

Katevas, Sgouros, et al. [11] proponen una silla con arquitectura basada en planificación, que provee de control autónomo y semi-autónomo al usuario.

Desde el punto de vista de diseño hay dos extremos paradigmáticos posibles en la construcción de un robot dotado de inteligencia: Jerárquico, que está basado en un esquema donde ocurre el sensado, luego la planificación, y finalmente la actuación estrictamente en ese orden, y por otro lado el reactivo, que carece de una etapa planificación, y actúa en base a los estímulos que recibe y un conjunto de reglas preestablecidas. Los robots diseñados bajo el segundo paradigma son más fáciles de diseñar, y tienen en general un mejor desempeño en entornos dinámicos, mientras los segundos tienen la complejidad agregada de que toda su planificación se basa en los datos sensados e información relevante sobre su entorno denominada “modelo del mundo”, que por lo general es difícil de determinar adecuadamente [12].

2.2. Arquitectura del sistema

El dispositivo planteado responde al paradigma reactivo. El mismo posee, como se mencionó en la sección anterior, la capacidad de responder rápidamente a estímulos recibidos en un entorno dinámico, esto es, que cambia frecuentemente en intervalos de tiempo relativamente cortos.

La arquitectura de la silla sigue el patrón subsumption, presentado por Brooks en [13]. La misma consiste en un conjunto de módulos que reciben estímulos de los sensores y en base a ellos generan salidas para controlar los actuadores del robot. De la interacción entre los diferentes módulos surgirá cómo se comporte el robot. Los módulos se estratifican en niveles de competencia, y pueden modificar o subsumir módulos de niveles inferiores.

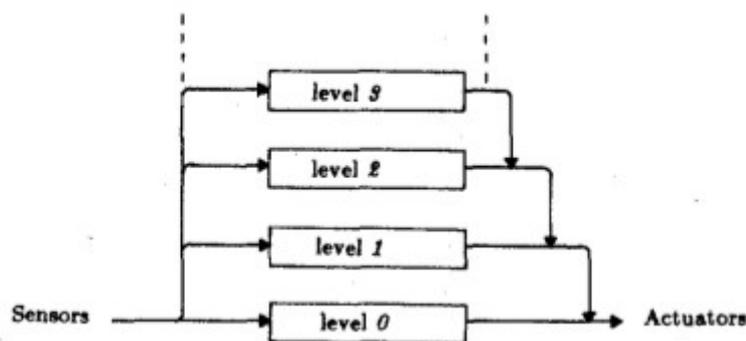


Figura 1. Esquema de arquitectura Subsumption. Los módulos en niveles superiores subsumen a los de niveles inferiores. Imagen extraída de [13].

Cada módulo de la arquitectura implementa un determinado comportamiento de la silla de ruedas. Los comportamientos con los que cuenta el sistema, y listados en orden de competencia, son: Búsqueda de objetivo, seguimiento de pared, evitación de obstáculo, y confirmación de destino. Cada uno se activará e intentará tomar control de la silla según corresponda dada la información sobre el entorno sensada.

La decisión de qué módulo tiene prioridad frente a los demás se realiza a través de un árbitro dispuesto entre la salida de los módulos y los actuadores. A grandes rasgos funciona como una llave de paso que permite el pasaje de la salida de cada comportamiento a los actuadores de la silla de ruedas.

La figura 2 presenta la silla de ruedas, disposición de sensores y ruedas que controla el sistema.



Figura 2. Detalle físico de silla. A la izquierda se observa la disposición de sensores y al medio se muestra la ubicación final en la silla. Extraída de [8].

2.3. Control de comportamientos basado en lógica fuzzy

Esta sección describe brevemente el control realizado en [8] el comportamiento de seguimiento de pared. La dirección y rapidez de movimiento de la silla se controlan a partir de las velocidades angulares de las ruedas de tracción, representadas en la figura 2. Dos parámetros son considerados para la entrada de este controlador: Punto de control (SP), y Valor presente (PV). El punto de control determina la distancia a la que la silla debería estar de la pared, y el valor presente es el arrojado por los sensores a los lados de la silla (1, 2, 5 y 6, ver figura 2). De ellos se calculan dos valores, que serán considerados para fuzificar: El error será calculado como $SP - PV$, y la diferencia de error (delta error) como el error actual menos el error registrado previamente. La salida del controlador determinará la velocidad angular de las ruedas de tracción. La velocidad de giro del motor izquierdo se calcula como una cierta velocidad base (Base_Speed), más la que resulta de la salida del controlador fuzzy (Out_Speed), mientras que la velocidad de giro del motor derecho se calcula como $Base_Speed - Out_Speed$. Para la fuzificación de el error y el delta error se consideran siete categorías, dadas en la figura 4. La figura 3 muestra las funciones de fuzificación para el error y el delta error.

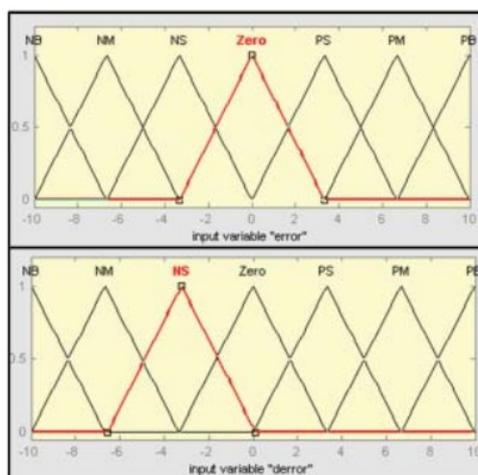


Figura 3. Funciones de fuzificación para la variable "error" (arriba) y "delta error" (abajo). Extraída de [8].

		Error						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
Delta error	NB	NB	NB	NB	NM	NM	NM	ZE
	NM	NB	NB	NM	NM	NM	ZE	PM
	NS	NB	NM	NM	NS	ZE	PM	PM
	ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
	PS	NM	NM	ZE	PS	PM	PM	PB
	PM	NM	ZE	NS	PM	PM	PB	PB
	PB	ZE	PM	PM	PM	PB	PB	PB

Figura 4. Base de conocimiento para fuzificación. Extraída de [8].

Para la inferencia los autores del artículo utilizan el método de Mamdani. La desfuzificación se realiza con el método de promedios ponderados para la implementación.

El principal beneficio de utilizar este método en el control radica en la velocidad de respuesta frente a condiciones de entorno que cambian rápidamente [14].

3. Comparativa con exoesqueletos

La utilización de exoesqueletos para rehabilitar o asistir en tareas a personas con ciertos tipos de patologías es un hecho [1], [2], [15]. Por otro lado diversos tipos de sillas de ruedas han sido creadas para permitir a personas que no pueden caminar a trasladarse de manera autónoma [7], [9], [11], [16]. Cada una de estas tecnologías presenta un conjunto características que las hacen más indicadas para ciertas aplicaciones frente a la otra, así como también ventajas y desventajas, alguna de las cuales se enumeran en esta sección.

Tanto las sillas de ruedas como los exoesqueletos pueden permitir recobrar movilidad a personas incapacitadas de ello, aunque esta última tecnología también puede utilizarse con otras finalidades, como ser rehabilitación de brazos [5], manos [1], además de las piernas [17]. Las sillas de rueda no permiten recuperar la movilidad de extremidades que se hayan visto afectadas como en el caso anterior, y además pueden llegar a contribuir negativamente a la salud de quienes las usan, independientemente del beneficio directo que ofrecen [18], [19].

Por otra parte, no siempre es posible la utilización de exoesqueletos, por ejemplo en el caso de personas con discapacidades severas, las que pueden involucrar un deterioro en las capacidades cognitivas, a la vez que aún es difícil conseguir que los mismos se adapten de forma natural a los movimientos humanos [4], [20]. Las sillas de ruedas dotadas de cierto grado de autonomía pueden ayudar a su usuario a evitar obstáculos, pasar a través de puertas, o incluso trasladarse sin la intervención de quien la utiliza, como es el caso del sistema analizado.

4. Conclusiones y trabajo a futuro

El presente trabajo describe brevemente una de las investigaciones realizadas en el área de la robótica aplicada a medicina. Si bien en el trabajo presentado sus autores sentencian tener resultados positivos, aun no hay una fuerte introducción al mercado de este tipo de tecnologías, debido a que no se han conseguido planes de negocio sostenibles.

En relación a los exoesqueletos, las sillas de ruedas autónomas o semi-autónomas presentan ventajas en ciertos escenarios, como por ejemplo la recuperación de movilidad de personas con discapacidades severas (por ejemplo deterioro cognitivo considerable).

Para finalizar, y como posible investigación a futuro, cabe sugerir la aplicabilidad de la arquitectura Subsumption en otros contextos. Brooks buscaba una arquitectura que permita a un robot perseguir múltiples objetivos y responder a varios sensores, que fuera robusta y fácilmente extensible [21]. Estas características hacen al estilo arquitectónico no solo apropiado para este escenario, sino también por ejemplo para sistemas de control en tiempo real, que generen acciones sin efecto sobre su entorno como ser logs, alarmas, etc. La modularidad de la arquitectura permite agregar o quitar fácilmente

comportamientos, encargados de generar respuestas a percepciones del sistema particulares. La misma puede estar basada únicamente en percepción del entorno presente, o incluir además información sobre el pasado. Esto último conlleva una variación al modelo arquitectónico puro, pero no por ello pierde su esencia.

5. Bibliografía

- [1] J. Iqbal, H. Khan, N. G. Tsagarakis, and D. G. Caldwell, "Original Research Article: A novel exoskeleton robotic system for hand rehabilitation – Conceptualization to prototyping," *Biocybern. Biomed. Eng.*, vol. 34, pp. 79–89, Jan. 2014.
- [2] M.-H. Milot, S. J. Spencer, V. Chan, J. P. Allington, J. Klein, C. Chou, J. E. Bobrow, S. C. Cramer, and D. J. Reinkensmeyer, "A crossover pilot study evaluating the functional outcomes of two different types of robotic movement training in chronic stroke survivors using the arm exoskeleton BONES.," *J. NeuroEngineering Rehabil.*, vol. 10, no. 1, pp. 2–23, Jan. 2013.
- [3] B. Koopman, E. H. F. Van Asseldonk, and H. Van der Kooij, "Selective control of gait subtasks in robotic gait training: foot clearance support in stroke survivors with a powered exoskeleton.," *J. NeuroEngineering Rehabil.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–21, Apr. 2013.
- [4] T. Yan, M. Cempini, C. M. Oddo, and N. Vitiello, "Review of assistive strategies in powered lower-limb orthoses and exoskeletons," *Rob. Auton. Syst.*, vol. 64, pp. 120–136, Feb. 2015.
- [5] M. H. Rahman, T. Kittel-Ouimet, M. Saad, J.-P. Kenné, and P. S. Archambalaut, "Dynamic modeling and evaluation for a robotic exoskeleton for upper-limb rehabilitation," *Int. J. Inf. Acquis.*, vol. 8, no. 1, pp. 83–102, Mar. 2011.
- [6] "ReWalk makes miracles possible." [Online]. Available: <http://rewalk.com/author/goran/>. [Accessed: 23-Jun-2015].
- [7] M. Elarbi-Boudiher and K. A. Al-Shalfan, "Adaptable Intelligent Robotic Wheelchair for Severely Disabled People.," *J. Digit. Inf. Manag.*, vol. 7, no. 4, pp. 252–260, Aug. 2009.
- [8] F. Zal, T. S. Chen, S. W. Chi, and C. H. Kuo, "Fuzzy controller based subsumption behavior architecture for autonomous robotic wheelchair," *2013 Int. Conf. Adv. Robot. Intell. Syst. ARIS 2013 - Conf. Proc.*, pp. 158–163, 2013.
- [9] C. Balaguer, a. Gimenez, a. Jardon, R. Cabas, and R. Correal, "Live experimentation of the service robot applications for elderly people care in home environments," *2005 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, 2005.
- [10] H. Seki, S. Kobayashi, Y. Kamiya, M. Hikizu, and H. Nomura, "Autonomous / semi-autonomous navigation system of a wheelchair by active ultrasonic beacons," *Proc. 2000 IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, no. April, p. 15, 2000.
- [11] N. I. Katevas, N. M. Sgours, S. G. Tzafestas, G. Papakonstantinou, P. Beattie, J. M. Bishop, P. Tsanakas, and D. Koutsouris, "The autonomous mobile robot SENARIO: A sensor-aided intelligent navigation system for powered wheelchairs," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 4, no. 4, pp. 60–69, 1997.

- [12] R. Murphy, *Introduction to AI Robotics*. The MIT Press, 2000.
- [13] R. Brooks, "A robust layered control system for a mobile robot," *IEEE J. Robot. Autom.*, vol. 2, no. 1, pp. 14–23, 1986.
- [14] X. Li and B. Choi, "Design of Obstacle Avoidance System for Mobile Robot using Fuzzy Logic Systems," *Int. J. Smart Home*, vol. 7, no. 3, pp. 321–328, 2013.
- [15] "ReWalk." [Online]. Available: <http://rewalk.com/>. [Accessed: 22-Jun-2015].
- [16] A. Lankenau and T. Röfer, "A versatile and safe mobility assistant," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 29–37, 2001.
- [17] W. Meng, Q. Liu, Z. Zhou, Q. Ai, B. Sheng, and S. (Shane) Xie, "Recent development of mechanisms and control strategies for robot-assisted lower limb rehabilitation," *Mechatronics*, Apr. 2015.
- [18] J. W. Rankin, A. M. Kwarciak, W. Mark Richter, and R. R. Neptune, "The influence of altering push force effectiveness on upper extremity demand during wheelchair propulsion," *J. Biomech.*, vol. 43, pp. 2771–2779, Oct. 2010.
- [19] J. Murata, S. Murata, M. Ohyama, H. Kogo, and S. Matsubara, "Effect of a Dynamic Air Cushion on the Development of Leg Edema during Wheelchair Sitting.," *J. Phys. Ther. Sci.*, vol. 26, no. 6, p. 911, Jun. 2014.
- [20] S. Viteckova, P. Kutilek, and M. Jirina, "Review Article: Wearable lower limb robotics: A review," *Biocybern. Biomed. Eng.*, vol. 33, pp. 96–105, Jan. 2013.
- [21] R. Pfeifer and C. Scheier, *Understanding Intelligence*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2001.