

## **Revisión de la literatura en programación, simulación y caminado de robots humanoides**

Víctor Núñez, Piero Espino, Josué Sapiens y Héctor Peralta

V. Núñez, P. Espino, J. Sapiens y H. Peralta

Universidad Politécnica de Sinaloa, Carretera Municipal Libre Mazatlán Mieleras, # Km. 3. Col. Genaro Estrada. CP. 82199. Mazatlán, Sinaloa.

Instituto Tecnológico de Tapachula, Km.2 carretera a Puerto Madero. CP 3700. Tapachula, Chiapas.

[jnunez@upsin.edu.mx](mailto:jnunez@upsin.edu.mx)

M. Ramos., V.Aguilera., (eds.) .Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

## Abstract

In this paper we deal with a literature review for humanoid robot walking. This is a topic in a mature stage of research and is the basis for more evolved research topics. In particular we present recent advances in both hardware and interaction software for humanoid robots and differentiate between three main approaches for inducing stable walking : zmp and limit cyclic walking and optimization. The complexity of the dynamic model and the use of simplified models are also pointed out. For each of these topics a number of relevant references is provided.

## 22 Introducción

La gente se identifica con los robots humanoides de manera espontánea. Dentro del reciente paradigma conocido como cognición embebida (Wilson & Foglia, 2011), la tesis de la mente embebida establece que nuestra mente está adaptada a nuestro cuerpo u no debe ser separada del mismo para su estudio (Varela, Thompson, & Rosch, 1991). Tomando estas bases filosóficas, el trabajo de Brooks (Brooks, 1991) demostró que la robótica era un campo inevitable para el desarrollo de la inteligencia artificial. En robótica es claro que el hardware de control, el middleware y el software –que contiene la lógica de los programas- debe estar adaptado a la estructura mecánica y a los sensores y actuadores de un robot para una tarea específica en un medio ambiente dado.

Con esto en mente, surgen dos preguntas: a) ¿Cuál es el rol del razonamiento humano y su conexión con el cerebro? y b) ¿Cuál es la mejor manera de controlar un cuerpo robótico semejante a un humano?. La primer pregunta está relacionada con la línea que separa los procesos o conceptos de imitación y de aprendizaje y responderla de forma detallada esta fuera del enfoque de este artículo, de cualquier forma, los lectores interesados pueden referirse a (Bohg, Barck-Holst, Huebner, Ralph, & Rasolzadeh, 2009) para una discusión e implementación de un sistema de razonamiento para un robot humanoide y a (Schaal, 1999) para una conceptualización general del problema; la segunda pregunta puede ser estudiada en términos de autonomía y los robots humanoides son adecuados para ayudar en su respuesta. De hecho el entender el funcionamiento de los seres humanos es uno de los intereses principales de la robótica humanoide además de proveer dispositivos avanzados de telepresencia y engendrar investigación sinérgica entre especialistas de áreas diferentes (Nunez-Nalda J. , 2008).

Creemos que en un futuro próximo, el uso de robots humanoides se incrementará en las sociedades modernas; para ello es necesario considerar una metodología balanceada para controlarlos e interactuar con ellos. Esta metodología debe tomar elementos de funcionamiento autónomo y otros ajustados por el usuario: Para los usuarios sin conocimientos técnicos la mayor autonomía del robot es mejor, mientras que para programadores y usuarios especialistas en robótica es deseable tener maneras de especificar de forma detallada las forma en que las tareas serán resueltas por el robot.

Dentro de estas tareas, el caminado bípedo es una de las más importantes y uno de los temas que distinguen a los robots humanoides de otros robots móviles. En este artículo presentamos una revisión de la literatura concerniente al caminado de robots humanoides destacando sus conceptos claves.

## 22.1 Hardware y software

Existen diferentes interfaces para programar e interactuar con robots humanoides y de otro tipo, entre ellos los más utilizados son Webots (Olivier, 1998) (Xing-Long, Weng, & Yang, 2011), Microsoft Robotics Developer Studio (MSRDS) (Johns & Taylor) (Cepeda, Chaimowicz, & Soto, 2010), ROS (Quigley, y otros, 2009) (Cousins, 2012) y OpenHRP (Kaneko, y otros, 2002) (Kanehiro, Hirukawa, & and Kajita, 2004). Todos estos software contienen simuladores de física y es posible interactuar con robots tanto simulados como robots reales.

En lo que concierne al hardware, existen varios proyectos desarrollados por grandes compañías o iniciativas nacionales e inclusive multinacionales con apoyo financiero y científico para crear robots humanoides de tamaño similar al de los humanos como ASIMO (Sakagami, Watanabe, Aoyama, Matsunaga, Higaki, & Fujimura, 2002), HRP-2, HRP-3 y HRP-4 (Kaneko, y otros, 2011), HUBO (Park, Kim, Lee, & Oh, 2005), Atlas (de Waard, Inja, & Visser, 2013), Robonaut (Diftler & Culbert, 2003), Jhonnies and Lola (Lohmeier, Buschmann, & Ulbrich, 2009), y REEM (Tellez, y otros, 2008). Por otra parte actualmente existen disponibles para universidades y público en general robots humanoides pequeños para estudio y desarrollo de proyectos como NAO (Gouaillier, y otros, 2009), Bioloid (Wolf, 2007) (Nunez, Briseno, Rodriguez, Ibarra, & Rodriguez, 2012), Darwin (Muecke & Hong, 2007) y KHR-3HV (Sullivan, Luke, & Ziparo, 2010) entre otros. Estos robots llamados de *edu-tainment* (educación y entretenimiento) han alcanzado gran éxito y son una gran oportunidad como un mercado emergente considerado el hardware, software y middleware así como las actividades de enseñanza y entrenamiento.

### ¿Cómo puede caminar una maquina?

La presentación de ASIMO en la segunda mitad de la década de los 90's sorprendió a la comunidad de roboticistas y al público en general mostrando un robot similar morfológicamente a una persona y que era capaz de caminar de manera suave y fluida. El caminado de este robot fue alcanzado diseñando trayectorias en el espacio de tareas para la pelvis y el pie libre y tomando en cuenta el balance del robot en su pie de apoyo (Hirai, Hirose, Haikawa, & T., 1998) (Nagasaka, Inaba, & Inoue, 1999). Para evitar la caída de este complejo mecanismo, las ecuaciones de equilibrio dinámico se consideran utilizando en punto de momento cero (ZMP, por sus siglas en inglés) propuesto por M. Vukobratovic (Vukobratovic & Juricic, Contributions to the synthesis of biped gait, 1969) (Vukobratovic, Frank, & Juricic, 1969) (Vukobratovic & Stepanenko, 1972). Este concepto es una de las piedras angulares para el análisis y síntesis de movimientos en robots humanoides ya que captura la dinámica de todo el cuerpo calculando un punto en la superficie de apoyo. Esto generaliza la proyección del centro de masa considerando las fuerzas producidas por la aceleración de todos los eslabones del mecanismo.

El ZMP coincide con el centro de presión (CoP) en casos generales (Vukobratovic & Borovac, Zero-moment point – thirty five years of its life, 2004), (Sardain & Bessonnet, 2004), (Popovic, A., & Her, 2005) y sirve como un criterio para saber si los pies del robot girarán sobre uno de sus bordes. De esta forma, el mantener el ZMP dentro del polígono de apoyo –formado por la huella del pie en apoyo simple y la envolvente mínima convexa de ambas huellas para el caso de doble apoyo- es la forma más utilizada para generar movimientos estables en robots humanoides.

Esto asegura un contacto un contacto rígido manteniendo el pie fijo y plano en el piso y como consecuencia el mecanismo puede ser tratado como un robot de base fija y estructura arborescente. Por el contrario, si el ZMP sale del polígono de apoyo, el pie gira sobre su borde y un grado de libertad no actuado aparece entre el pie y el piso, complicando la consecución del proceso de caminado.

Una forma más reciente de estudiar la estabilidad de un mecanismo caminante es ver el movimiento como cíclico y verificar de forma matemática las condiciones para tener el mismo estado del sistema de un paso al siguiente, de esta forma el robot humanoide entra en un ciclo límite. La estabilidad de caminado de ciclo límite es más fuerte que la estabilidad del zmp ya que considera el proceso completo del caminado (Hobbelen & Wisse, 2007). Además, este enfoque permite la presencia de grados de libertad no actuados lo cual está presente principalmente cuando el pie trasero rota alrededor de su borde antes de que el pie delantero aterrice.

Este tipo de estabilidad es analizada y sintetizada utilizando herramientas de la teoría de control como lo son los mapas de Poincaré y la teoría de puntos fijos que estudian procesos cuyo comportamiento es repetitivo o cíclico. Una importante ventaja de este enfoque es que, entendiendo y controlando las ecuaciones que representan la dinámica natural del robot caminante así como las colisiones intermitentes entre el robot y el piso, el diseño del robot y sus movimientos puede ser integrado lo que conlleva a ahorros importantes en términos de energía (Collins, Wisse, & Ruina, 2001), (Collins, Ruina, Tedrake, & Wisse, 2005).

Para encontrar el ZMP de un robot humanoide y/o estudiar la estabilidad del caminado de ciclo límite, es necesario calcular su modelo dinámico completo. Este modelo puede ser encontrado utilizando ya sea la formulación de Newton-Euler o la formulación de Euler-Lagrange, estas ecuaciones se estudian en (Khatib, Sentis, Park, & Warren, 2004), (Nunez-Nalda, Nadjar-Gauthier, Yokoi, Blazevic, & Stasse, 2006) (Nunez-Nalda, Nadjar-Gauthier, Yokoi, Blazevic, & Stasse, 2007), (Lee & Goswami, 2012). La complejidad de modelo dinámico para los robots humanoides ha motivado a la comunidad científica a proponer métodos con modelos simplificados como los que se presentan en (Kajita, Kanehiro, Kaneko, Harada, Fujiwara, & Yokoi, 2001), (Kajita, y otros, 2003).

Otra forma de producir el caminado y que no está basada en el modelo dinámico considera simulaciones exhaustivas basadas en métodos de búsqueda y aprendizaje como lógica difusa, redes neuronales, algoritmos genéticos (Katic & Vukobratovic, Survey of intelligent control techniques for humanoid robots, 2003) e inclusive aprendizaje por refuerzo (Peters, Vijayakumar, & Schaal, 2003).

## **22.2 Programación e interacción con robot humanoides**

Se mencionaron previamente soluciones profesionales para simular y programar robots, en particular humanoides, como Webots, MSRDR, OpenHRP y ROS. Todos estos paquetes de software hacen uso intensivo de la realidad virtual para obtener una visualización detallada de un robot particular así como del ambiente en el que se desempeña. Además, incluyen motores para el cálculo de la física para realizar simulaciones realistas.

Es posible mencionar varios programas de la comunidad académica para el desarrollo de Interfaces Hombre Máquina (HRI por sus siglas en inglés) aplicados a robots humanoides: En (Medrano-Cerda, Dallali, Brown, Tsagarakis, & Caldwell, 2010) se introduce Robotran como una herramienta generalizada aunque se aplica para el modelado y simulación de los robots iCube y CCube (Tsagarakis, y otros, 2007). Es programado utilizando la herramienta de cálculos simbólicos de MatLab y utilizado para el diseño y prueba de estos complejos sistemas robóticos.

VRSilo2 es un programa de simulación y modelado presentado en (Ponticelli & Armada, 2006) que permite Manejar diferentes tipos de actuadores incluyendo efectos de elasticidad en el sistema de transmisión de forma simple; el robot Silo2 (Caballero, Armada, & Akinfiyev, 2004) se considera como caso de estudio. Otro paquete de simulación completo e interesante es presentado en (Reichenbach, 2009) donde un simulador completo basado en el motor de física PhysX (NVIDIA) produce una simulación realista del robot humanoide Archie (Baltes, Byagowi, Anderson, & P., 2009). Finalmente podemos mencionar USARSim (Lakemeyer, Sklar, Sorrenti, & Takahashi, 2007) que ha servido de base para el torneo RoboCUP. Todos estos trabajos representan el esfuerzo desde el punto de vista científico hacia la programación, modelado y visualización de robots humanoides.

### 22.3 Conclusiones

En este trabajo se presenta una revisión de la literatura concerniente a la programación, modelado y simulación de robots humanoides. En este sentido se mencionan los software comerciales mas populares asi como varios software desarrollados con fines académicos.

Podemos observar que estos softwares son desarrollados en complemento y conjunto con plataformas de hardware correspondientes a robots humanoides de diferentes características. De la misma los artículos que presentan el desarrollo de varios robots humanoides alrededor del mundo son seleccionados y presentados de una forma comprensible y articulada.

Finalmente se hace énfasis en las diferentes formas en las que es posible dotar a un robot5 humanoide de la capacidad de caminado: basado en el punto de momento cero (zmp), por caminado de ciclos límites y en base a algoritmos de aprendizaje y simulación extensiva como lo son algoritmos genéticos, lógica difusa y redes neuronales. Las principales características de estos enfoques asi como la literatura relevante son mencionadas.

Este artículo pretende de cierta forma el sentar las bases de manera formal para introducir algunos aspectos técnicos de la robótica humanoide que representa un área de creciente interés en las sociedad moderna hacia el desarrollo de dispositivos que puedan ser utilizados cada vez con mayor presencia en los hogares de las personas para lo cual actualmente son desarrollados estos prototipos que nos llevan a preguntarnos como funcionamos los seres humanos entre otras cuestiones de interés mas filosófico o interés mas práctico como la telepresencia y el desarrollo de investigaciones colaborativas.

## Referencias

- Arias, L. E., Olvera, L. I., Pamanes, J. A., & Nunez-Nalda, J. V. (To be Published). Patrón de marcha 3D de tipo cicloidal para humanoides y su aplicación al robot Bioloid (In Spanish). *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*.
- Baltes, J., Byagowi, A., Anderson, J., & P., K. (2009). Teen Sized Humanoid Robot: Archie. En K. Jong-Hwan, G. ShuzhiSam, & V. Prahlad, *Progress in Robotics* (págs. 34-41). Springer Berlin Heidelberg.
- Bohg, J., Barck-Holst, C., Huebner, K., Ralph, M., & Rasolzadeh, B. (2009). Towards grasp-oriented visual perception for humanoid robots. *International Journal of Humanoid Robotics*, 6(3), 387–434.
- Brooks, R. (1991). Intelligence without reason. *Proceedings of 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, (págs. 569 - 595). Sydney, Australia.
- Caballero, R., Armada, M. A., & Akinfiyev, T. (2004). Robust cascade controller for nonlinearly actuated biped robots: experimental evaluation. *The International Journal of Robotics Research*, 1075 - 1095.
- Cepeda, J., Chaimowicz, L., & Soto, R. (2010). Exploring Microsoft Robotics Studio as a Mechanism for Service-Oriented Robotics. *Latin American Robotics Symposium and Intelligent Robotic Meeting (LARS)*, (págs. 7-12).
- Collins, S., Ruina, A., Tedrake, R., & Wisse, M. (2005). Efficient bipedal robots based on passivedynamic walkers. *Science*, 1082–1085.
- Collins, S., Wisse, M., & Ruina, A. (2001). A three-dimensional passive-dynamic walking robot with two legs and knees. *International Journal of Robotics Research*, 607 – 615.
- Cousins, S. (2012). Is ROS Good for Robotics? [ROS Topics]. *IEEE Robotics Automation Magazine*, 13-14.
- de Waard, M., Inja, M., & Visser, A. (2013). Analysis of flat terrain for the atlas robot. *Joint Conference of AI Robotics and RoboCup Iran Open International Symposium (RIOS)*, (págs. 1-6).
- Diftler, M., & Culbert, C. (2003). Evolution of the NASA/DARPA robonaut control system. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, (págs. 2543 - 2548).
- Gouaillier, D., Hugel, V., Blazevic, P., Kilner, C., Monceaux, J., Lafourcade, P., y otros. (2009). Mechatronic design of NAO humanoid. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, (págs. 769 - 774).
- Hirai, K., Hirose, M., Haikawa, Y., & T., T. (1998). The development of honda humanoid robot. *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*, (págs. 1321–1326).
- Hobbelen, D. G., & Wisse, M. (2007). Limit Cycle Walking. En M. Hackel, *Humanoid Robots, Human-like Machines*. Viena, Austria: ITech Education and Publishing.
- Johns, K., & Taylor, T. (s.f.). *Professional Microsoft Robotics Developer Studio*.

- Kajita, S., Kanehiro, F., Kaneko, K., Fujiwara, K., Harada, K., Yokoi, K., y otros (2003). Biped walking pattern generation by using preview control of zero moment point. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, (págs. 1620 – 1626).
- Kajita, S., Kanehiro, F., Kaneko, K., Harada, K. .., Fujiwara, K., & Yokoi, K. (2001). The 3DLinear Inverted Pendulum Mode: A simple modeling for a biped walking pattern generation. *IEEE/RAS International Conference on Intelligent Robots and Systems*.
- Kanehiro, F., Hirukawa, H., & and Kajita,, S. (2004). OpenHRP: Open architecture humanoid robotics platform. *The International Journal of Robotics Research*, 23(2), 155 - 165.
- Kaneko, K., Kanehiro, F., Kajita, S., Yokoyama, K., Akachi, K., Kawasakii, T., y otros. (2002). Design of prototype humanoid robotics platform for HRP. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (págs. 2431 - 2436).
- Kaneko, K., Kanehiro, F., Morisawa, M., Akachi, K., Miyamori, G., Hayashi, A., y otros. (2011). Humanoid robot hrp-4-humanoid robotics platform with lightweight and slim body. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*., (págs. 4400 - 4407).
- Katic, D., & Vukobratovic, M. (2003). Survey of intelligent control techniques for humanoid robots. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 37(2), 117–141.
- Katic, D., Rodic, A., & Vukobratovic, M. (2007). Reinforcement Learning of Humanoid Rhythmic Walking. *International Journal Inform. Syst. Sci*, 4(2), 256 - 267.
- Khatib, O., Sentis, L., Park, J., & Warren, J. (2004). Whole body dynamic behavior and control of human-like robots. *International Journal of Humanoid Robotics*, 29 - 43.
- Lakemeyer, G., Sklar, E., Sorrenti, D. G., & Takahashi, T. (2007). Development of an Autonomous Rescue Robot Within the USARSim 3D Virtual Environment. En G. Polverari, D. Calisi, A. Farinelli, & D. Nardi, *RoboCup 2006: Robot Soccer World Cup X* (págs. 491-498). Springer Berlin Heidelberg.
- Lee, S.-H., & Goswami, A. (2012). A momentum-based balance controller for humanoid robots on non-level and non-stationary ground. *Autonomous Robots*, 399 – 414.
- Lohmeier, S., Buschmann, T., & Ulbrich, H. (2009). System Design and Control of Anthropomorphic Walking Robot LOLA. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 658-666.
- Medrano-Cerda, G., Dallali, H., Brown, M., Tsagarakis, N., & Caldwell, D. (2010). Modelling and simulation of the locomotion of humanoid robots. *UK Automatic Control Conference (UKACC)*, (págs. 1 - 6).
- Muecke, K. J., & Hong, D. W. (2007). DARwIn's evolution: development of a humanoid robot. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, (págs. 2574 - 2575).
- Nagasaka, K., Inaba, M., & Inoue, H. (1999). Walking pattern generation for a humanoid robot based on optimal gradient method. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*.

Nunez, J., Briseno, A., Rodriguez, D., Ibarra, J., & Rodriguez, V. (2012). Explicit Analytic Solution for Inverse Kinematics of Bioloid Humanoid Robot. *Brazilian Robotics Symposium and Latin American Robotics Symposium (SBR-LARS)*, (págs. 33-38).

Nunez-Nalda, J. (2008). *PhD Thesis: Etude de la commande des mouvements dynamiques d'un robot humanoïde (In French)*. Paris: UVSQ.

Nunez-Nalda, J. V., Nadjar-Gauthier, N., Yokoi, K., Blazevic, P., & Stasse, O. (2006). Whole body posture controller based on inertial forces. *Proceedings of the 6th IEEE/RAS International conference on Humanoid Robots*, (págs. 188-194).

Nunez-Nalda, J. V., Nadjar-Gauthier, N., Yokoi, K., Blazevic, P., & Stasse, O. (2007). Inertial Forces Posture Control for Humanoid Robots Locomotion. En M. Hackel, *Humanoid Robots, Human-like Machines*. ITech Education and Publishing.

Olivier, M. (1998). Webots: Symbiosis Between Virtual and Real Mobile Robots. En J.-C. Heudin, *Virtual Worlds, Lecture Notes in Computer Science* (págs. 254-263). Springer Berlin Heidelberg.

Park, I.-W., Kim, J.-Y., Lee, J., & Oh, J.-H. (2005). Mechanical design of humanoid robot platform KHR-3 (KAIST humanoid robot 3: HUBO). *IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, (págs. 321 - 326).

Peters, J., Vijayakumar, S., & Schaal, S. (2003). Reinforcement learning for humanoid robotics. *Proceedings of the third IEEE-RAS international conference on humanoid robots*, (págs. 1--20).

Ponticelli, R., & Armada, M. (2006). Vrsilo2: dynamic simulation system for the biped robot silo2. *International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR)*.

Popovic, M. B., A., G., & Her, H. (2005). Ground reference points in legged locomotion : Definitions, biological trajectories and control implications. *International Journal of Robotics Research*, 1013-1032.

Quigley, M., Gerkey, B., Conley, K., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., y otros. (2009). ROS: an open-source Robot Operating System. *ICRA workshop on open source software*.

Reichenbach, T. (2009). A dynamic simulator for humanoid robots. *Artificial Life and Robotics*, 561-565.

Sakagami, Y., Watanabe, R., Aoyama, C., Matsunaga, S., Higaki, N., & Fujimura, K. (2002). The intelligent ASIMO: system overview and integration. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, (págs. 2478 - 2483).

Santoyo-Mora, M., Cacique-Borrego, V. H., Camarillo-Gomez, K. A., & Ibarra-Zannatha, J. M. (2013). Programming the Goalkeeper of 20 DOF for FIRA Cup. En K. Omar, M. Nordin, P. Vadakkepat, & A. Prabuwono, *Intelligent Robotics Systems: Inspiring the NEXT* (págs. 64 - 76). Springer Berlin Heidelberg.

Sardain, P., & Bessonnet, G. (2004). Forces acting on a biped robot : Center of pressure-zero moment point. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 630 - 637.

- Schaal, S. (1999). Is imitation learning the route to humanoid robots? *Trends in cognitive sciences*, 233 - 242.
- Sofge, D., Bugajska, M., Trafton, G. J., Perzanowski, D., Thomas, S., Skubic, M., y otros. (2005). Collaborating with humanoid robots in space. *International Journal of Humanoid Robotics*, 181-201.
- Sullivan, K., Luke, S., & Ziparo, V. A. (2010). Hierarchical learning from demonstration on humanoid robots. *Proceedings of Humanoid Robots Learning from Human Interaction Workshop*.
- Tellez, R., Ferro, F., Garcia, S., Gomez, E., Jorge, E., Mora, D., y otros. (2008). Reem-B: An autonomous lightweight human-size humanoid robot. *IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, (págs. 462 - 468).
- Tsagarakis, N., Metta, G., Sandini, G., Vernon, D., Beira, R., Santos-Victor, J., y otros. (2007). iCub - The Design and Realization of an Open Humanoid Platform for Cognitive and Neuroscience Research. *Int. J. of Advanced Robotics*, 21(10), 1151-1175.
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge, MA.: MIT Press.
- Vukobratovic, M., & Borovac, B. (2004). Zero-moment point – thirty five years of its life. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.
- Vukobratovic, M., & Juricic, D. (1969). Contributions to the synthesis of biped gait. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1-6.
- Vukobratovic, M., & Juricic, D. (1969). Contributions to the synthesis of biped gait. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1-6.
- Vukobratovic, M., & Stepanenko, R. (1972). On the Stability of Anthropomorphic System. *Mathematical Biosciences*, 1 - 37.
- Vukobratovic, M., Frank, A., & Juricic, D. (1969). On the stability of biped locomotion. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 25 - 36.
- Wilson, R., & Foglia, L. (2011). Embodied Cognition. En E. N. Zalta, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*.
- Wolf, J. a. (2007). Bioloid based humanoid soccer robot design. *the Proc. of the Second Workshop on Humanoid Soccer Robots*.
- Xing-Long, Z., Weng, X.-d., & Yang, Z. (2011). Mobile robot simulation based on Webots. *Seventh International Conference on Natural Computation (ICNC)*, (págs. 1750-1752).