

EVADIENDO OBSTÁCULOS CON ROBOTS MÓVILES

Mtro. Víctor Javier González Villela

*Profesor de Carrera Titular "A" del Departamento de Mecatrónica de la
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México
vjgv@servidor.unam.mx*

Dr. Robert M. Parkin

*Profesor of Mechatronics PhD, Mechatronics Research Centre, Wolfson
School of Mechanical & Manufacturing Engineering, Loughborough
University
R.M.Parkin@lboro.ac.uk*

EVADIENDO OBSTÁCULOS CON ROBOTS MÓVILES

RESUMEN

En este trabajo se presenta una síntesis de los métodos de anticolisión que se utilizan para evadir obstáculos con robots móviles, en particular, los métodos de planeación de rutas y métodos basados en campos potenciales artificiales.

Palabras clave: Robots móviles, Planeación de rutas, Evasión de obstáculos, Campos potenciales artificiales.

AVOIDING OBSTACLES WITH MOBILE ROBOTS

ABSTRACT

Here is presented a synthesis of anti-collision methods that are used to avoid obstacles with mobile robots, in particular, methods of path planning and methods based on artificial potential fields.

Keywords: Mobile robots, Path planning, Obstacle avoidance, Artificial potential fields.

INTRODUCCIÓN

Desde que se crearon los robots industriales, se hizo evidente lo fácil que estos pueden llegar a chocar con su medio ambiente, o entre ellos mismos. Desde entonces, la búsqueda de métodos de anticolidión ha demandado la atención de los investigadores. En el primer caso están los métodos de planeación de rutas, y en el segundo caso, los métodos de evasión de obstáculos. Los métodos de planeación de rutas consisten en encontrar en forma automática las rutas libres de colisión, mientras que los métodos de evasión de obstáculos consisten en evadir los obstáculos que se presentan en la trayectoria del robot, mientras éste consigue alcanzar la meta.

PLANEACIÓN DE RUTAS

Cualquier vehículo autónomo debe poderse mover de un lado a otro sin chocar con los obstáculos que se encuentran en su ambiente de trabajo. Normalmente estos vehículos tienen definidos ciertos caminos por donde pueden moverse libremente. Por ejemplo, estos caminos libres de colisión están representados por las líneas punteadas en la Figura 1.a, mismas que definen el mapa de trayectorias.

Inicialmente, la planeación de rutas se logra traduciendo el mapa de trayectorias (Figura 1.a) en gráficos (Figura 1.b), donde las líneas continuas contienen alguna información relacionada con las trayectorias (por ejemplo, la distancia existente entre nodos). Por otro lado, los nodos (puntos verdes) representan la unión de trayectorias o cambios de dirección (Cameron 1994). Entonces, la ruta más corta puede encontrarse utilizando un "algoritmo de búsqueda gráfica estándar con respaldo de información" como puede ser el algoritmo A*, que hace uso de la información de la gráfica para calcular el costo de la ruta que va del nodo de partida al nodo n y el costo estimado de la ruta más barata que va del nodo n a la meta. La suma de estas dos cantidades proporciona el costo estimado de la solución más barata que pasa por el nodo n , de acuerdo a un criterio seleccionado. En este ejemplo, el criterio podría ser la distancia entre nodos, que es el único dato por ahora proporcionado. La explicación de este método y sus derivados puede encontrarse en (Russell et al. 2003). Además de todo esto, en un sistema multivehicular, es necesario tomar en cuenta otras consideraciones, tales como: estimar con precisión los tiempos de travesía, resolver los problemas de los cruces y los giros apropiadamente, programar un ambiente multivehicular, y enfrenar lo inesperado con rapidez.

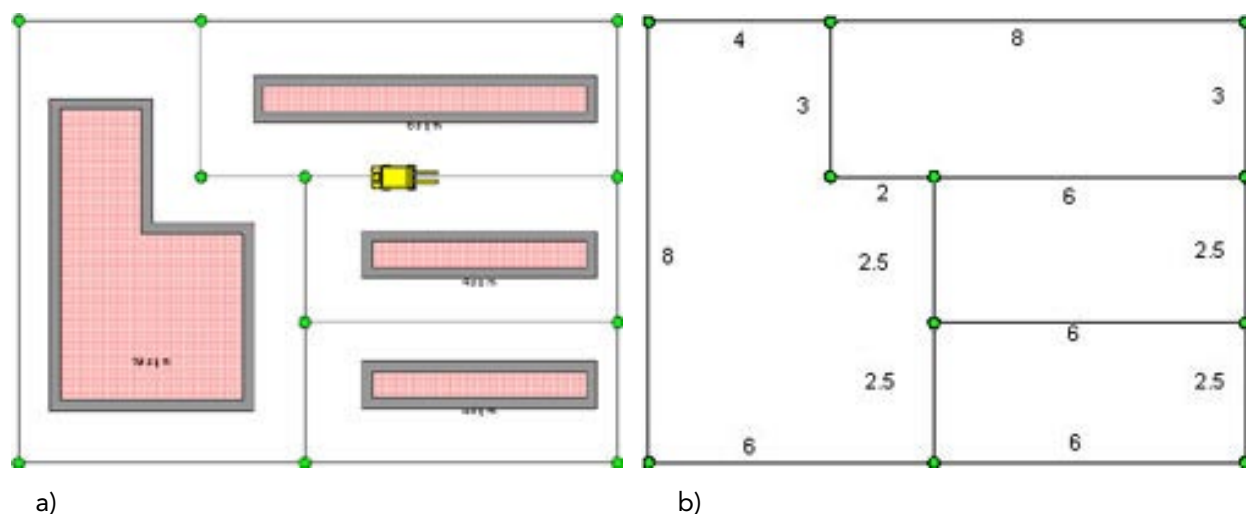


Figura 1: a) Espacio de configuración y trazo de rutas y b) Obtención de gráficas

La planeación de rutas se complica aun más cuando es necesario tomar en cuenta la forma del robot, debido al hecho de que todas las partes del robot deben evitar colisionar simultáneamente con el ambiente. En este último caso, el concepto de espacio de configuración nos permite separar matemáticamente los cuidados del calcular que parte de los objetos podrían chocar, de los cuidados de obtener los posibles caminos para alcanzar la meta. El espacio de configuración puede llegar a ser muy complejo, en otros puede resumirse a proyecciones de dos dimensiones como lo mostrado en la Figura 1.a.

En el caso más simple, los vehículos pueden ser considerados redondos, reduciendo el problema de "encontrar el camino que mantenga a todas las partes del robot lejos de los obstáculos" a "encontrar el camino que mantenga el centro del robot, a una distancia mayor que el radio del círculo que modela al robot". Entonces, es posible construir un nuevo mapa del ambiente donde se pueda ubicar al robot libre de colisiones haciendo crecer gráficamente los obstáculos, estas áreas pueden estar representadas de una manera burda por los contornos grises en la Figura 1.a. Una vez que está definido el espacio de configuración, es posible trazar trayectorias en ese espacio y usar, por ejemplo, el algoritmo A*.

En general, los métodos que han sido utilizados para encontrar este camino libre de colisiones, son los llamados métodos de Mapa de Caminos (Métodos de Visibilidad Gráfica, Diagramas de Voronoi, Freeway, y Silhouette), y los métodos de Descomposición de Celdas (Descomposición en Celdas Exactas, y Descomposición en Celdas Aproximadas), la explicación de estos métodos puede encontrarse en (Latombe 1991).

Sin embargo, el uso de estos métodos puede complicarse cuando el modelo del ambiente de trabajo y del robot es tridimensional, si el ambiente de trabajo cambia debido a la presencia de obstáculos inesperados, si el robot tiene una forma diferente a la circular, o cambia sus dimensiones debido a la presencia de mecanismos tales como manipuladores que el mismo robot utiliza para realizar tareas en su medio ambiente. En este caso, la introducción de métodos basados en el concepto de campos potenciales artificiales resulta más práctico.

EVASIÓN DE OBSTÁCULOS

Los algoritmos de planeación exactos, tales como los discutidos hasta ahora, se dedican a tratar de encontrar soluciones óptimas para problemas específicos, el concepto de optimización se reduce a optimizar tiempos, energía, distancia, costo, etc. Pero si estos métodos se desean aplicar a problemas prácticos, el concepto de optimización es mucho más vago. Por ejemplo, el vehículo debe de moverse rápido, interactuar con personas, alargar el tiempo de recarga de baterías, resolver rápidamente el camino a tomar, etc. Aun más, el problema se complica cuando se tienen muchas posibles rutas, y es entonces cuando los modelos de campos potenciales son usados para resolver el problema. Como un ejemplo de campos potenciales (ver Figura 2), imaginemos que tenemos un espacio de configuración donde los objetos están definidos por polígonos irregulares, dibujemos esos polígonos en una manta y hagamos que se levanten, poniendo objetos por debajo de estos polígonos, formando una superficie con altas (objetos) y bajas (trayectorias libres de colisión o la meta). Definamos un punto inicial y un punto final sobre la manta. Levantemos la manta lo necesario para que el punto inicial sea el más alto y el punto final sea el más bajo. Entonces, pongamos un balón en el punto inicial y observemos como el balón es atraído al punto más bajo (meta), evitando los obstáculos. De esta manera la manta funciona como la fuerza repulsiva que mantiene al balón lejos de los obstáculos y al mismo tiempo guía al robot al punto final.

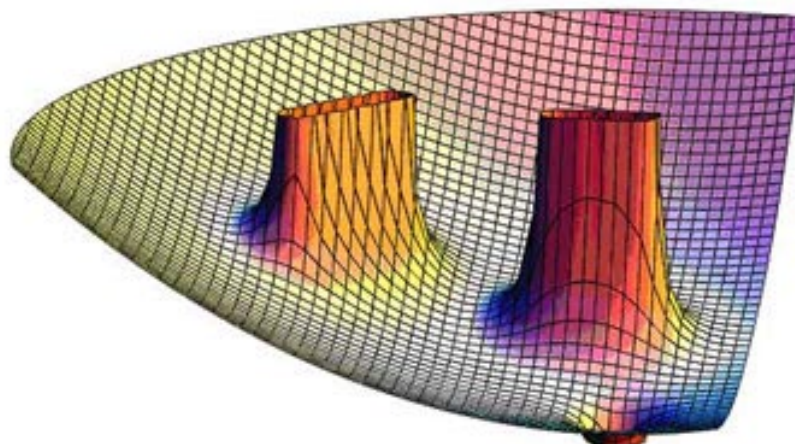


Figura 2. Ejemplo de un campo potencial artificial representado por dos obstáculos y la meta

Modelar estos campos potenciales no es fácil, sin embargo, es posible modelar las fuerzas de repulsión debidas a los objetos, con una función inversamente proporcional a la distancia a la que el robot se encuentra de ellos como lo mostrado en la Figura 3. Entonces, la fuerza repulsiva (suma total de las fuerzas de repulsión debidas a los objetos en el punto donde se encuentra el robot) sumada a la fuerza atractiva (fuerza asociada a la meta) produce una fuerza resultante. Esta fuerza resultante varía de acuerdo a la posición del robot y lo guía durante todo su trayecto, desde el punto inicial hasta el punto final. Un problema grande, en este método, es que pueden encontrarse hondonadas en el camino, como resultado de la ausencia de fuerzas actuantes en el robot, debido a la anulación de la fuerza resultante, ver por ejemplo (Mora Aguilar et al. 2004). Esto ocurre cuando la fuerza de atracción aplicada es de la misma magnitud a la fuerza de repulsión, pero exactamente en el sentido contrario a ésta, por lo que la suma vectorial es cero. Este problema es llamado mínimo local, y resulta en un estancamiento de robot en un punto no deseado. Algunos ejemplos de la construcción de estos campos, su problemática, y algunas aplicaciones interesantes puede encontrarse en (Khatib 1986), (González-Villela et al. 2004), y en la bibliografía reportada.

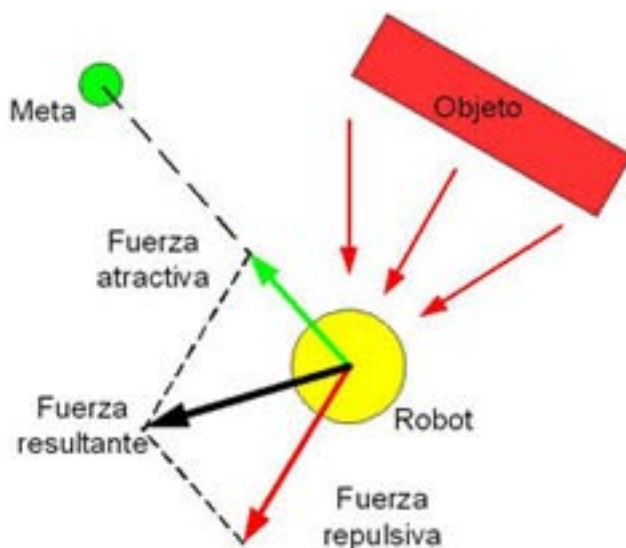
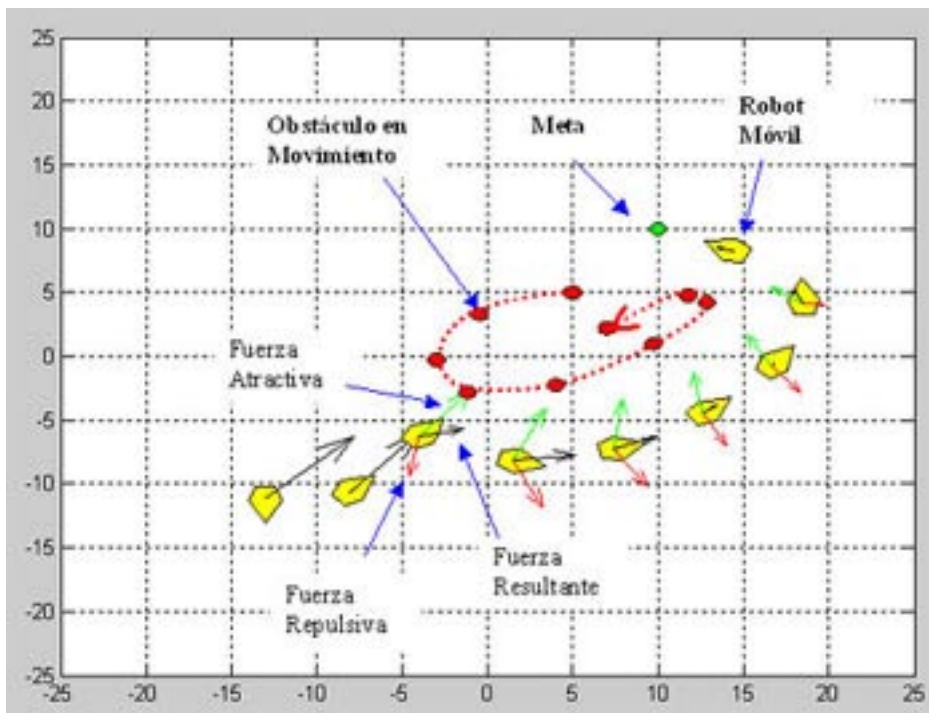


Figura 3. Modelado de fuerzas

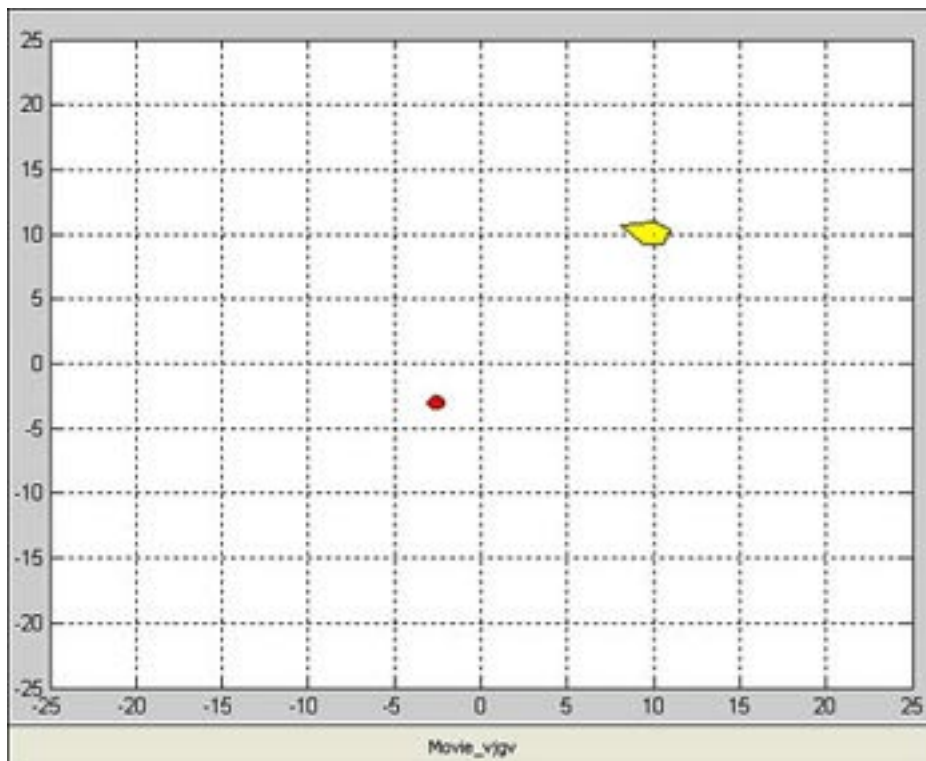
En general, estos métodos están limitados por la confiabilidad de los sensores que utilizan, por los modelos imprecisos que se tienen de los mecanismos del robot y por las características no ideales de las llantas que, hasta cierto punto, permiten el deslizamiento. Entonces, la idea básica para la utilización de estos algoritmos está constituida, y limitada al mismo tiempo, por estos tres puntos básicos (Cameron 1994):

- El método básico es restringido a robots representados por un punto y todo el campo potencial se construye alrededor del análisis de ese punto, por lo que no es aplicable a todos los tipos de robot.
- Es difícil de evitar los mínimos locales en el campo potencial producidos por objetos cercanos al robot.
- La mayoría de los vehículos son de movilidad restringida (noholonómicos), que para cambiar su orientación deben moverse de su posición actual.

Un ejemplo de la utilización de estos métodos puede verse en la Figura 4, esta figura presenta una simulación hecha en SIMULINK de MatLab, donde se puede observar un robot móvil evadiendo un obstáculo en movimiento, éste se dirige a la meta guiado por la fuerza resultante, consecuencia de la suma vectorial de la fuerza de atracción (debida a la meta) y la fuerza de (repulsión debida al obstáculo en movimiento).



a) Secuencia gráfica



b)Película

Figura 4. Evasión de obstáculos en movimiento, simulación gráfica en SIMULINK:

DISCUSIÓN

Al tomar en cuenta los dos métodos descritos anteriormente, se puede decir que los métodos de planeación de rutas se utilizan antes de que el robot se mueva, y los métodos de evasión de obstáculos se utilizan cuando el robot está en movimiento. Además, el gradiente del potencial (fuerza resultante) que experimenta el robot en los métodos de campos potenciales está constituido de dos componentes: fuerza de repulsión generada por los obstáculos y fuerza de atracción generada por la meta. Sin embargo, estas fuerzas vectoriales no son reales y no existen en el medio ambiente real del robot, éstas son añadidas a los modelos matemáticos del robot para generar los comandos de aceleración en las ruedas del robot, son función de la distancia a la que se encuentra el robot de la meta (para la fuerza atractiva) y de la distancia a la que se encuentra de los obstáculos (fuerza repulsiva), es por eso que estos métodos se ha hecho llamar de Campos Potenciales Artificiales. Además, los datos de las distancias provienen de los sensores externos e internos del robot que le permiten saber donde se encuentra, a que distancia está de la meta y de los objetos de su alrededor.

También, la planeación de rutas, presupone la existencia de un modelo estable y confiable del medio ambiente, que por el contrario, en los métodos de evasión de obstáculos no es necesario. Es por eso que las técnicas de planeación de rutas y de evasión de obstáculos son técnicas que son utilizadas con diferente propósito. El primero está asociado al comportamiento deliberativo (preplaneado) y el segundo al comportamiento reactivo (responder a los estímulos provenientes del exterior), ver por ejemplo (Chatila 1995). Así que, los métodos de planeación de rutas están relacionados con los algoritmos de planeación y los métodos de evasión de obstáculos con la toma de decisiones del tipo sensor-reaccionar.

CONCLUSIÓN

Para contar con un sistema de evasión de obstáculos robusto es necesario balancear los dos comportamientos, el deliberativo y el reactivo, de tal manera que el robot móvil cuente con la capacidad de planear trayectorias óptimas libres de colisión y reaccionar ante la presencia de objetos inesperados en el camino. La aplicación de estas dos técnicas en un sólo robot da como resultado la creación de sistemas híbridos, los cuales usan las dos técnicas, de planeación de rutas y de evasión de obstáculos, para superar los problemas que se presentan en el transcurso de la conquista de la meta. En particular para encontrar un camino libre de colisión como en la Figura 1 y para evadir obstáculos que se presenten en el camino como en la Figura 3. De esta manera, el robot puede planear con anticipación la ruta que tomará, de acuerdo a un criterio de optimización (distancia, energía, tiempo, etc.), para luego dividir esa ruta específica en tramos constituidos por un conjunto de submetas consecutivas, que deberán ser alcanzadas una tras otra por el robot mientras utiliza un algoritmo basado en campos potenciales artificiales como se muestra en la Figura 4, de esta manera, el robot podrá seguir la trayectoria preplaneada y reaccionar rápidamente a los cambios que se presentan en su ambiente debido a la presencia de obstáculos inesperados.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor desea agradecer a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) y a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por el soporte recibido para realizar estudios de doctorado en el Holywell Mechatronics Research Centre, Loughborough University, Inglaterra.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

BECKHAUSS, Steffi; Felix Ritter y Thomas Strothotte. "Guided exploration with dynamic potential fields: the cubicalpath systems" [en línea] Fraunhofer Institut Medienkommunikation, 2004. <http://viswiz.gmd.de/~steffi/Publications/CGJCubicalPath.pdf> [Consulta: 9 diciembre 2004]

CAMERON, S. (1994). "Obstacle avoidance and path planning." *Industrial Robot: An International Journal* Vol: 21(5): 9-14.

CHATILA, R. (1995). "Deliberation and reactivity in autonomous mobile robots." *Robotics and Autonomous Systems* Vol: 16(2-4): 197-211.

GERDES, J. Christian and Eric J. Rossetter. "A unified approach to driver assistance systems based on artificial potential fields" [en línea]. Proceedings of ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition November 14-19, 1999, Nashville, TN, USA. <http://www.cdr.stanford.edu/dynamic/PF/papers/pfieldsIMECE99.pdf> [Consulta: 9 diciembre 2004]

GONZÁLEZ-VILLELA, V. J., Parkin, R. M., Lopez-Parra, M., Dorador-González, J. M., et al. (2004). "A wheeled mobile robot with obstacle avoidance capability." *Ingeniería Mecánica Tecnología y Desarrollo. Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica (SOMIM)*. ISSN 1665-7381. Vol: 1(5): 159-166.

KHATIB, O. (1986). "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots." *The International Journal of Robotics Research* Vol: 5(1): 90-98.

LATOMBE, J. C. (1991). *Robot motion planning*. Boston, Kluwer Academic Publishers.

LEARNING AND VISION MOBILE ROBOTICS GROUP [en línea]. [Barcelona, España]: Institut de Robòtica i Informàtica Industrial, 2004. <http://www.iri.upc.es/groups/lrobots> [Consulta: 9 diciembre 2004]

MORA AGUILAR, M. C., Armesto Ángel, L. and Tornero Montserrat, J. (2004). *Sistema de Navegación de Robots Móviles en Entornos Industriales*, XXV Jornadas de Automatica. http://www.isa-cr.uclm.es/xxvjornadas/ConfMan_1.7/SUBMISSIONS/115-arlarpmor.pdf. Diciembre 9, 2004.

RUSELL, S. J. and Norvig, P. (2003). *Artificial intelligence: a modern approach*. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall.

PRAHLAD, Vadakeppat; Kay Chen Tan y Wang Ming-Liang. "Evolutionary artificial potential fields and their application in real time robot path planning" [en línea]. Documento presentado en el IEEE Congress on Evolutionary Computation 2000, 2000, La Jolla, CA, United States. Department of Electrical Engineering, The National University of Singapur <http://www.ee.nus.edu.sg/stfpage/elepv/publication/cec2000.pdf> [Consulta: 9 diciembre 2004]