



Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness
*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

ROBOT CADDIE, UNA IDEA DE MI NIÑEZ QUE ESPERABA POR LA INGENIERA

Andrea Patricia Díaz Baquero

**Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia**

Resumen

Basada en una necesidad que identifiqué en mi infancia, desarrolle el prototipo de un robot caddie como proyecto de tesis, este robot es capaz de recolectar las pelotas en un campo de tenis.

En algunos deportes como el tenis donde la pelota no dura mucho tiempo en juego, ya que esta puede caer en cualquier parte del campo deportivo, el recolectar las pelotas puede detener la partida además de causar cansancio extra en el jugador. Como solución a esta molestia surgió una persona encargada de recolectar las pelotas del campo a cambio de una remuneración económica, un caddie actualmente cobra en Colombia seis mil pesos por una hora de servicio. El servicio de caddie en países del primer mundo, es muy costoso y principalmente se ofrece en clubes privados y campeonatos.

Se propone un robot caddie el cual recolecte las pelotas en el campo de tenis, el recorrido que este realizará corresponderá al trayecto en el cual recorra la menor distancia. El sistema debe ser capaz de identificar el robot y las pelotas, generar una trayectoria eficiente y realizar el recorrido.

La visualización del campo de juego se realizará por medio de una cámara ubicada fuera de la cancha de tenis. La implementación para una cancha completa requiere de dos plataformas robóticas móviles y dos cámaras.

Se invita al lector a ver el prototipo en funcionamiento: www.robotcaddie.es.tl

Palabras clave: robot; caddie; innovación

Abstract

This project is based on a need which I identified in my childhood; I developed a robot caddie prototype as my thesis project, this robot is able to collect the balls on a tennis court.

In some sports like tennis, the ball does not last long in the game, as this can fall anywhere on the sport field, collecting balls can pause the game and it cause extra fatigue in the player. To solve this situation there is person in charge of collecting all the balls on the field in exchange for economic remuneration. In Colombia, a caddie currently charges three dollars for one hour of service. The caddie service in first world countries is very expensive and it is only offered for private clubs and championships.

I propose a caddie robot which collects the balls in the tennis court, the robot will follow the shortest distance to gather all the balls. The system must be able to identify the robot and balls, generate a path and perform the most efficient route.

A camera located outside of the tennis court, it is used for the robot image processing. The implementation for a full tennis court requires two mobile robot platforms and two cameras.

I invite the reader to see the working prototype in www.robotcaddie.es.tl

Keywords: robot, caddie; innovation

1. Introducción

La ingeniería requiere bases matemáticas, físicas y de otras ciencias, las cuales son utilizadas para el desarrollo de nuevas tecnologías. Un gran invento requiere un fundamento sólido que permita su desarrollo y perfeccionamiento. La universidad brinda herramientas teóricas que permiten al estudiante, futuro ingeniero, ser capaz de inventar.

Una enseñanza interdisciplinar permite al estudiante conocer necesidades en otras áreas, como en la música, medicina y los deportes. La innovación en la industria, requiere ingenieros multidisciplinares capaces de reconocer necesidades, plantear posibles soluciones y elaborar la solución.

La innovación en ingeniería surge de la interdisciplinaridad de sus estudiantes. Un hobby, una clase de artes, música, deporte, biología, etc., pueden inspirar a un futuro ingeniero, no solamente imaginará muchos posibles inventos, sino también encontrara la creatividad que será el mejor complemento de su carrera.

La creatividad define a un niño, es allí cuando entre fantasías y juegos, surgen las grandes ideas sin ningún tipo de temor al fracaso, o al desconocimiento de la teoría para lograr un desarrollo que finalice en un invento. Simplemente cada idea, aguarda por el momento en que finalmente este niño inventor, sea un ingeniero. La ingeniería se puede definir como la actividad de transformar el conocimiento en algo práctico.

En mi caso particular, mi familia me ha enseñado la importancia del deporte, el tenis es un deporte que practico desde mi infancia, y ha sido como una tradición familiar. Recuerdo que siempre pensaba: ¿Por qué no existe un robot que recoja las pelotas por nosotros?, También que cuando veía los grandes campeonatos de tenis en televisión pensaba: sería muy interesante ver un robot recogiendo rápidamente las pelotas de los saques fallidos. Así que desde mi infancia existía una idea innovadora, pero no había una base teórica para lograr el desarrollo de esta.

En el tenis donde la pelota no dura mucho tiempo en juego, un robot caddie podría mejorar la experiencia del jugador en una partida de tenis. En caso de que este robot fuese implementado como producto reduciría

costos del servicio del caddie.

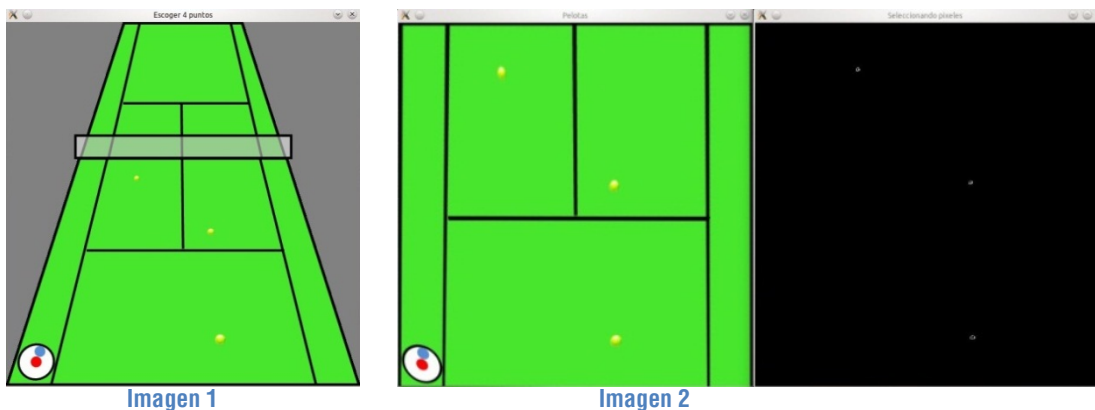
2. Prototipo actual

Inicialmente el sistema captura una imagen del campo de tenis, todas las imágenes capturadas son calibradas antes de iniciar el procesamiento de imagen, este proceso corrige la distorsión radial y tangencial introducida al sistema debido a la imperfección del lente de la cámara.

Una vez se tiene una imagen calibrada, se realiza una homografía, una transformada de perspectiva u homografía puede convertir un paralelogramo o trapezoide a un rectángulo, esta transformada puede comprimir, rotar y/o escalar la imagen. Basada en una matriz de 3 por 3, de forma $T = A \cdot X + B$.

En la Imagen 1 se observa la imagen inicial capturada por el sistema, y en la Imagen 2 se observa una imagen que corresponde a la vista superior de la cancha, o vista de pájaro, sobre la cual se realizara el reconociendo de las pelotas y el robot.

El usuario debe seleccionar el área en el cual operara el robot, seleccionando manualmente las esquinas, el prototipo actual permite máximo media cancha. Una vez se haya seleccionado esta área se mostrara la homografía.



En la Imagen 3 se observa el robot iRobot Create, este posee dos marcas, una roja y una azul, la roja se utiliza para conocer la posición del robot en la cancha y la azul para conocer la dirección en la cual se encuentra.

El reconocimiento del robot (las dos marcas) y las pelotas se realiza por medio de reconocimiento de colores, cada marca sobre el robot y las pelotas tienen colores claramente diferenciados entre sí. Se utiliza el modelo RGB (rojo, verde y azul) para representar el color de cada pixel. Este modelo permite representar una amplia gama de colores por medio de un arreglo o matriz de uno por tres, en este modelo la luz roja, verde y azul se suman para producir un color específico.

La tripleta de componentes RGB se representa de la siguiente manera: [Rojo, Verde, Azul]. La representación de los colores básicos es: Rojo: [255, 0, 0], Verde: [0, 255, 0] y Azul: [0, 0, 255], y para colores secundarios como el Amarillo es [255, 255, 0]. En la práctica el rojo no será [255, 0, 0], pero si tendrá una primera componente significativamente más alta que la segunda y tercera.

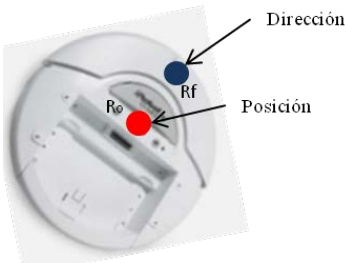


Imagen 3

La dirección, intensidad y el color de la luz ambiente influyen en el aspecto del objeto de interés. Los cambios en la iluminación global son con frecuencia un reto en las escenas al aire libre. La intensidad solar no permanece constante durante largos periodos de tiempo, pero si se toman dos fotos de un mismo objeto con un pequeño lapso de tiempo entre las capturas de estas dos fotos hay gran probabilidad de que el valor RGB del pixel no tenga una gran variación.

El usuario también debe seleccionar manualmente las marcas y cualquiera de las pelotas, esto con el fin de que el sistema guarde en memoria estos parámetros, y utilizarlos en el reconocimiento de las marcas y pelotas. Cuando el usuario selecciona un pixel correspondiente a una de las marcas o de las pelotas, toma el valor RGB de este pixel como base para encontrar otros pixeles en la imagen que se encuentran en el rango establecido en el sistema. Cuando el usuario se encuentre seleccionando cada uno de los pixeles de cada una de las marcas y pelotas, el sistema mostrará una nueva ventana con una imagen binaria en la cual se mostrarán en negro las áreas que no pertenecen al rango predefinido de color del pixel seleccionado (Imagen 2).

Para identificar la posición de cada una de las marcas sobre el robot, el sistema realiza un barrido sobre esta imagen binaria, y encuentra el punto medio de cada marca de la siguiente manera:

$$Pos_x = \frac{Sum_x}{N} \qquad Pos_y = \frac{Sum_y}{N}$$

Donde N es el número total de pixeles que se encuentran en el rango del color seleccionado (blanco), Sum_x y Sum_y corresponden a la sumatoria de la componente x y y respectivamente, de cada uno de los pixeles que se encuentren en el umbral.

Debido a que el número de pelotas en la cancha puede ser mayor a uno, no se puede simplemente tomar el conjunto de coordenadas que se encuentran en el rango y realizar el promedio, para este caso es necesario tomar en cuenta la adyacencia de los pixeles. Si los pixeles no son adyacentes significa que es necesario crear otro nuevo grupo de coordenadas, así que se generan varios grupos de coordenadas dependiendo de la cantidad de pelotas en el campo, y para cada grupo se encuentra la coordenada promedio, la cual dará la ubicación de cada pelota.

En la Imagen 4 se observa la pantalla que ve el usuario al iniciar la operación del robot con el actual prototipo. Se mostrarán cuatro opciones, estas permiten que el usuario escoja que parámetros iniciales desea ingresar (área de la cancha y/o colores), en caso de que no se desee ingresar alguno o ambos parámetros, el sistema utilizara el ultimo seleccionado por el usuario que se encuentra guardado en memoria. El área de la cancha se escoge solo la primera vez de operación, y los colores solamente cuando hay cambios bruscos en la iluminación.

```
Terminal
andreapatri@andreapatri:~/Escritorio/Robot Caddie$ python teleop_twist_keyboard.py
Desea definir:
 1) Area de la cancha y colores
 2) Solamente colores
 3) Solamente area de la cancha
 4) Ninguno
```

Imagen 4

Una vez el sistema reconoce las marcas y las pelotas, debe encontrar el menor recorrido para recolectar las pelotas en el campo. En la Tabla 1 Imagen 5 se observa un grafo con todas las posibles trayectorias, donde los nodos del grafo corresponden a P_1 , P_2 , P_3 y R_0 . Debido a que en este prototipo el máximo de pelotas a recolectar es tres y el punto de partida de robot es el mismo que el final, se encuentran solo seis posibles secuencias de recolección de pelotas o trayectorias que puede seguir el robot.

El número de posibles trayectorias se puede reducir a 3, ya que este sistema es simétrico, por lo tanto la distancia recorrida para la secuencia 1 y 2 es igual. De la misma manera que la distancia de la secuencia 3 y 4, y 5 y 6. Para el desarrollo de este prototipo, el robot realizará solamente uno de los recorridos 1, 3 ó 5, dependiendo de cuál de estas secuencias de recorrido tenga la menor sumatoria de distancias.

Secuencia 1	0	1	2	3	0
Secuencia 2	0	3	2	1	0
Secuencia 3	0	1	3	2	0
Secuencia 4	0	2	3	1	0
Secuencia 5	0	2	1	3	0
Secuencia 6	0	3	1	2	0

Tabla 1

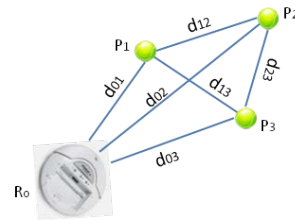


Imagen 5

Una vez se tiene la posición de todos los elementos del sistema y la trayectoria, el sistema iniciará el recorrido entre la posición actual del robot y la siguiente pelota a recoger. Para poder aproximarse a la pelota destino el robot debe corregir su dirección, esta corrección se realiza con utilizando las dos marcas del robot, el robot gira hasta que las dos marcas o puntos sobre este sean colineales a la pelota. Con los dos puntos sobre el robot se halla la ecuación de la recta, luego en esta ecuación se evalúa la coordenada destino o de la pelota:

$$f = y_{evaluado} - r_{0y} - \frac{r_{0y} - r_{fy}}{r_{0x} - r_{fx}}(x_{evaluado} - r_{0x})$$

Donde $(x_{evaluado}, y_{evaluado})$ es la coordenada destino, (r_{0x}, r_{0y}) es la coordenada de la marca central, y (r_{fx}, r_{fy}) es la coordenada de la marca frontal.

El sistema hallará a que semiplano pertenece la pelota (superior o inferior), dependiendo del valor encontrado en la ecuación anterior. La ecuación de la recta no diferencia las marcas del robot, así que se evalúa también la diferencia entre r_{0x} y r_{fx} , que corresponden a las coordenadas en x de la marca central del robot (roja) y la marca frontal (azul) respectivamente. Finalmente así se define la dirección de giro del robot:

Si $r_{0x} > r_{fx}$ y $f < -20$ → girar hacia la derecha

Si $r_{0x} > r_{fx}$ y $f > 20$ → girar hacia la izquierda

Si $r_{0x} > r_{fx}$ y $-20 \leq f \leq 20$ → ir hacia adelante

Si $r_{0x} < r_{fx}$ y $f < -20$ → girar hacia la izquierda

Si $r_{0x} < r_{fx}$ y $f > 20$ → girar hacia la derecha

Si $r_{0x} < r_{fx}$ y $-20 \leq f \leq 20$ → ir hacia adelante

Si $r_{0x} = r_{fx}$ → girar hacia la derecha

Cuando se tiene la dirección de giro, el sistema encuentra el tiempo de giro por medio de la siguiente ecuación (requiere que el sistema de coordenadas este centrado en 0):

$$\text{Ángulo (Grados)} = \left(\arccos \left(\frac{(p_{x_{new}} * r_{f_{x_{new}}}) + (p_{y_{new}} * r_{f_{y_{new}}})}{(p_{x_{new}}^2 + p_{y_{new}}^2) * (r_{f_{x_{new}}^2} + r_{f_{y_{new}}^2})} \right) \right) * \frac{180}{\pi}$$

Cuando las marcas sobre robot son colineales con la coordenada destino (pelota o punto final de recorrido), este realiza una trayectoria en línea recta hacia el destino, realizando correcciones de dirección, para lograr una aproximación al destino más exacta.

En la Imagen 6 se observa una matriz de 1 x 5 que corresponde la secuencia de coordenadas que debe seguir el robot, donde la primera y última coordenada deben ser iguales ya que el punto de partida es el mismo que el punto final del robot (este punto corresponde a la marca roja del robot o Ro), y las otras coordenadas corresponden a cada una de las pelotas. Finalmente rf corresponde a la marca frontal del robot.

```
[ (38, 550), (165, 75), (347, 257), (350, 506), (38, 550) ]
rf: ( 44.3451643319 , 604.913523707 )
```

Imagen 6

El diagrama de flujo de la siguiente página, describe el algoritmo implementado en el prototipo del robot caddie, anteriormente se hizo una breve descripción de los bloques del diagrama.

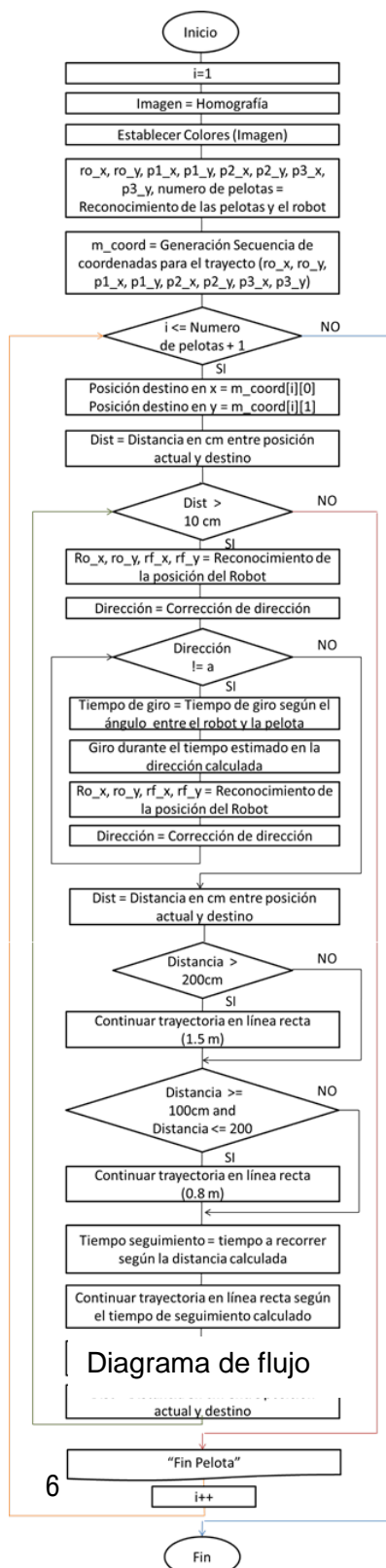
3. Desarrollo de empresa en base tecnológica

El compromiso de las universidades Colombianas con el desarrollo económico y social del país mediante el fomento de ideas innovadoras para la industria, permite la creación de empresa y promueve la investigación.

El desarrollo de las capacidades de innovación y emprendimiento en los estudiantes de ingeniería permite plantear soluciones a problemas o necesidades que se encuentran en nuestra sociedad. Este es un reto de las universidades Colombianas con el país.

El consumidor del día de hoy está rodeado de tecnología, desarrolla necesidades que espera sean suplidas por esta, también se preocupa por su salud y por el medio ambiente. Esta es una gran oportunidad para los futuros ingenieros, es un mundo lleno de posibilidades y hambriento por nuevos productos tecnológicos.

Diferentes universidades del mundo apuestan por sus estudiantes con proyectos emprendedores, mediante la creación de incubadoras de empresa en la cual los estudiantes pueden materializar los productos innovadores y comercializarlos. La universidad acompaña al estudiante



durante todo el proceso, capacitándolo, asesorándolo, ofreciéndole un espacio físico, servicios básicos y laboratorios compartidos entre varios emprendedores que permiten reducir los costos de la creación de empresa. La preocupación de un estudiante emprendedor es el capital inicial para la creación de la empresa, la incubadora de empresas ayuda a estos estudiantes que más adelante serán los futuros grandes empresarios del país.

Otra gran oportunidad de creación de empresa en base tecnológica se encuentra en el desarrollo de productos utilizando software libre o abierto (Open Source). Este también promueve un desarrollo acelerado de la tecnología debido a la libre publicación en internet de diferentes desarrollos basados en software libre.

El desarrollo del proyecto Robot Caddie se realizó por medio de software libre, y aun se encuentra en proceso de desarrollo. Este busca demostrar a futuros estudiantes de ingeniería que se pueden crear nuevos productos tecnológicos por medio del código abierto. Los desarrollos en open source pueden ser patentados sin penalización alguna por uso de licencias. Así que estos proyectos pueden ser comercializables sin pagar retribuciones a terceras empresas.

Existen grandes oportunidades para muchos jóvenes ingenieros emprendedores comprometidos con el desarrollo del país, formados integral y moralmente por las instituciones educativas colombianas en búsqueda de nuevos competidores globales que logren marcar una diferencia. Este compromiso debe ser continuo, buscando siempre incentivar la creatividad y formando futuros empresarios emprendedores, no empleados. Finalmente cito mi frase favorita de Steve Jobs: La innovación es lo que distingue a un líder de los demás.

4. Referencias

Artículos de revistas

- Zbigniew Wasik and Alessandro Saffiotti, Robust Color Segmentation for the RoboCup Domain, IEEE Pattern Recognition, 2002. Proceedings. 16th International Conference on . Volume 2. 651 - 654 vol.2

Libros

- GARY BRADSKI E ADRIAN KAEHLER, (2008), Learning OpenCV, Computer Vision with the OpenCV library
- Stuart J. Russell, Peter Norvig. "Inteligencia Artificial: Un Enfoque Moderno", Prentice Hall, 2004.
- Choset H. et al, "Principles of Robot Motion", MIT Press, 2005.

Fuentes electrónicas

- Wiki de ROS (*Robot Operating System*) <http://www.ros.org/wiki/>
- Pagina web del grupo de investigación de robótica de la Universidad de Brown. <http://brown-robotics.org/wp/>
- Wiki de OpenCV de la Universidad Javeriana <http://opencvjaveriana.wikispaces.com>
- Documentación de OpenCV <http://docs.opencv.org/>
- Foros en general, sobre OpenCV, python y ROS. <http://stackoverflow.com>

Sobre la autora:

Andrea Patricia Díaz Baquero, Estudiante de décimo semestre de Ingeniería electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana. Ingeniera de implementación en Solainj, empresa partner de Avaya y Cisco. adiab@javeriana.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)