

Bioleta Mata: una planta que interactúa por medio de realidad aumentada

Carolina Chang

Grupo de Inteligencia Artificial Departamento de Computación y TI, Universidad Simón Bolívar.

Apartado Postal 89000, Caracas 1080-A, Venezuela.

Autor para correspondencia: cchang@usb.ve

Fecha de recepción: 21 de septiembre 2014 - Fecha de aceptación: 17 de octubre 2014

RESUMEN

Este documento describe una planta real dotada de un vehículo inteligente que le permite navegar por ambientes de interiores, responder a estímulos del ambiente, interactuar con seres humanos a través de realidad aumentada, detectar la presencia de fuego y solicitar ayuda por medio de Twitter. Los experimentos muestran que no hay falsos positivos en la detección de fuego, y que la detección de fuego es superior al 50% de las lecturas del sensor en distancias menores a 5 m, con línea de visión entre el sensor y la llama. La comunicación por radios XBee en ambientes de interiores es efectiva hasta por lo menos 25m de distancia entre los radios.

Palabras clave: Robot móvil, detección de fuego, realidad aumentada, evitación de obstáculos, Twitter.

ABSTRACT

This paper describes a real plant that features an intelligent vehicle. The plant navigates through indoor environments, responds to environmental stimuli, interacts with humans through augmented reality, detects fire, and asks for help via Twitter. Experiments show that there are no false positives in the detection of fire, and that the detection of fire is greater than 50%, for distances along the sight line between the flames and the sensor of less than 5 m. Communication by XBee radios in indoor environments is effective up to 25 m at least.

Keywords: Mobile robot, fire detection, augmented reality, obstacle avoidance, Twitter.

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto surge en el año 2007 tras presenciar el incendio de un vivero. Decenas de plantas en sus macetas fueron consumidas por un incendio justo frente al campus universitario. De este incidente surgió la idea de crear macetas móviles inteligentes que permitan a las plantas escapar de un incendio. Durante varios años Bioleta Mata (*Bio: vida; Mata: planta*) se limitó a la evitación de obstáculos y a la detección de luz ambiental. Sin embargo, con el desarrollo de las tarjetas controladoras Arduino (2014), los avances en comunicaciones inalámbricas y en realidad aumentadas, y con la consolidación de las redes sociales, el proyecto ha crecido y cambiado en años recientes.

Existe una amplia variedad de trabajos donde se ha dotado de movilidad a objetos cotidianos. Por ejemplo, Minoru Kurata ha creado un cesto de basura móvil que utilizando un sensor kinect en una computadora externa es capaz de atajar objetos que son lanzados por una persona. La cesta de basura ataja correctamente aproximadamente el 20% de los objetos que le son lanzados (Holmes, 2013). Cassinelli (2014) ha creado un conjunto de lámparas que navegan en un jardín utilizando una base de robot cuadrúpedo. Cada lámpara tiene su propia personalidad, y todas se comunican con una computadora central a través de una red XBee. La posición de cada lámpara es rastreada con una cámara infrarroja, y para ello cada lámpara posee un led infrarrojo en su tope. Conceptualmente la idea persigue construir un jardín que se auto-reconfigure dependiendo de la época del año, presencia de

observadores, y su propio sentido de armonía y equilibrio (Cassinelli, 2014). *Augmented Fish Reality* es una instalación interactiva de Rinaldo (2014) en la cual 5 peceras colocadas sobre bases robóticas se desplazan dependiendo de hacia dónde se oriente el pez *luchador de Siam* (*Betta splendens*) que se encuentra en la pecera. Una cámara colocada en el tope de la pecera permite determinar la ubicación del pez. *PotPet* es una planta colocada sobre una base robótica con conectividad wifi, que se mueve por un ambiente de exteriores evitando obstáculos y llamando la atención de humanos con sus movimientos para que la rieguen (Kawakami *et al.*, 2011). Esto lo hace cuando un sensor de humedad colocado en la maceta detecta poco nivel de humedad. La detección de personas se realiza con un sensor de movimiento, por lo que no posee ningún reconocimiento robusto en la detección de personas. Utiliza una tarjeta Arduino duemilanove con un módulo XBee, por medio del cual envía comandos a la base robótica WiFiBot (<http://www.wifibot.com>). Una planta dotada de sensores que la hacen reaccionar a la interacción con personas ya había sido propuesta en 2007 (Kuribayashi *et al.*, 2007), sin embargo, esta planta no estaba dotada de una plataforma móvil para desplazarse por el ambiente.

De igual forma existen robots que utilizan realidad aumentada para comunicarse con los usuarios y llevar a cabo tareas, como por ejemplo navegación teleoperada (Milgram *et al.*, 1997; Giesler *et al.*, 2004; Green *et al.*, 2008; Hashimoto *et al.*, 2011). En Realidad Aumentada se adiciona información generada por computadora a un entorno real, de forma interactiva y en tiempo real (Höllerer & Feiner, 2004). Los objetos visuales virtuales generalmente se superponen sobre objetos físicos, no para sustituir la realidad, sino para complementarla. Es frecuente utilizar marcadores específicos en el ambiente real para facilitar la detección y seguimiento de los mismos. Los elementos visuales y auditivos son muy utilizados, pero la percepción de cualquiera de los otros sentidos se puede aumentar de forma similar.

El paradigma de *Internet of Things, IoT* (el internet de las cosas) visualiza que próximamente cualquier objeto podrá ser monitorizado y controlado remotamente (Ashton, 2009). Actualmente existe a la venta cafeteras, neveras, lavadoras y otros artefactos conectados a internet utilizando distintos protocolos, entre ellos TCP/IP bajo el paradigma de IP para objetos inteligentes (Atzori *et al.*, 2010; Dunkels & Vasseur, 2010).

Bioleta Mata integra en una sola plataforma varias de las ideas descritas anteriormente. El objetivo de este trabajo es que la planta pueda navegar de forma autónoma percibiendo estímulos de su ambiente, y que al detectar fuego en su cercanía lo notifique vía Twitter. Además, se desea que la planta pueda recibir comandos del usuario a través de realidad aumentada, así como mostrarle una versión aumentada del ambiente (<http://bioletamata.wordpress.com>).

Existen dos componentes principales de Bioleta Mata: su vehículo inteligente y el procesamiento externo. En la Sección 2 se describe el funcionamiento del vehículo inteligente de la planta; en la Sección 3 se explica la comunicación con una computadora externa y el procesamiento que en ella se realiza. Finalmente en la Sección 4 resume las conclusiones de este trabajo y aspectos a mejorar en el futuro.

2. EL VEHÍCULO INTELIGENTE

Bioleta Mata es una planta que posee un vehículo inteligente que le permite desplazarse por ambientes de interiores evitando colisiones y respondiendo a estímulos del ambiente. El control del vehículo se realiza con una tarjeta Arduino UNO y una tarjeta Arduino Micro conectadas en configuración Maestro-Esclavo (Fig. 1). La tarjeta maestra, la Arduino UNO, tiene además un *shield* de XBee DFRobot, con un XBee Pro 60 mW series 1 para comunicación inalámbrica con una computadora externa en un rango de 1,5 km.

El vehículo actual de Bioleta Mata está hecho de madera con construcción artesanal (Fig. 2). Se prefirió este material sobre el plástico, el acrílico y el metal por ser más ecológico. La base consta de dos motores en configuración de manejo diferencial, a los cuales se les acoplaron ruedas de LEGO. Adicionalmente la base tiene una *caster ball* para mantener el balance del vehículo.



Figura 1. Tarjetas controladoras Arduino UNO (maestra) y Micro (esclava).



Figura 2. Vehículo de Bioleta Mata.

El vehículo tiene 3 sensores infrarrojos y un sensor ultrasónico para la detección de obstáculos. Además tiene una fotoresistencia para la detección de la intensidad de luz ambiental y un sensor de luz ultravioleta para la detección de fuego. La lectura de todos los sensores es realizada por la tarjeta maestro. La lectura de todos los sensores excepto la del sensor de fuego se realiza de manera cíclica, mientras que la detección de fuego se realiza con interrupciones del sistema, para que la detección del fuego sea inmediata. De acuerdo a las lecturas de los sensores, la tarjeta maestra Arduino UNO le indica a la tarjeta esclava Arduino Micro qué movimientos del vehículo se deben realizar. La tarjeta Arduino Micro se encarga exclusivamente del control de los motores del vehículo. Los motores giran en ambas direcciones por medio del uso de un puente-H SN754410NE.

2.1. Evitación de obstáculos

El vehículo se desplaza por el ambiente en modo *wandering* (paseo) evitando colisiones con obstáculos de forma reactiva. Utiliza un sensor ultrasónico Devantech SRF04 colocado al frente del vehículo a 15 cm de altura sobre el suelo. Debido al amplio cono de lectura, este sensor se utiliza como el principal sensor de evitación de obstáculos. Como complemento, el vehículo tiene 3 sensores infrarrojo SHARP GP2Y0A21YK colocados a 3 cm sobre el suelo. Estos sensores permiten detectar obstáculos de baja altura, y además cubrir puntos ciegos del sensor ultrasónico, especialmente cuando el vehículo se aproxima a obstáculos en ángulos agudos.

2.2. Detección de luz ambiental

Bioleta Mata usa una simple fotoresistencia para medir el nivel de luz ambiental. A manera de demostración, al detectar una alta intensidad de luz durante su navegación, Bioleta se detiene durante un tiempo predeterminado a “tomar un poco de sol”. Luego de haber tomado sol, reanuda su navegación. Posteriormente, durante un lapso de tiempo no necesita tomar sol nuevamente, de modo que aunque vuelva a encontrar fuentes de luz, no detiene su recorrido hasta cumplirse el tiempo de saciedad de luz.

2.3. Detección de fuego

El R2868 Hamamatsu UVtron flame sensor es un sensor de luz ultravioleta con sensibilidad espectral reducida a longitudes de onda entre 185 y 260 nm, que corresponden a las emitidas por la luz de una llama. Es completamente insensible a la luz visible y a la luz infrarroja, por lo que falsos positivos en la detección de fuego deben ocurrir con muy poca frecuencia. La radiación UV del sol se clasifica principalmente en UVA (400-315 nm), UVB (315-280 nm) y UVC (280-100 nm). Aunque el sol es la mayor fuente de luz UV, la atmosfera absorbe toda la luz UVC y la mayor parte de la UVB que emite (<http://www.icnirp.org/en/frequencies/uv/index.html>). Por esta razón el sensor Hamamatsu es insensible a la luz solar, a diferencia de otros sensores de fuego basados en la detección de luz

infrarroja, como por ejemplo el DRF Flame sensor, que detecta longitudes de onda en el rango de 760-1100 nm ([http:// www.robotshop.com/en/dfrobot-flame-sensor.html](http://www.robotshop.com/en/dfrobot-flame-sensor.html)). El sensor Hamamatsu tiene una amplia sensibilidad angular, de aproximadamente 120 grados tanto en el eje horizontal como en el eje vertical. El fabricante afirma que el sensor puede detectar la llama de un yesquero a 5 m de distancia (<http://www.robotstorehk.com/R2868.pdf>).

En una versión inicial del vehículo se utilizaba únicamente una tarjeta Arduino duemilanove y posteriormente una tarjeta Arduino UNO. Tanto la lectura de los sensores como el control de los motores se realizaban con esta tarjeta. Sin embargo, se pudo notar que tanto el cambio de dirección de los motores como atascos de los mismos generaban interrupciones en la tarjeta, las cuales producían falsos positivos en la detección de fuego. Se intentó solventar esta situación evitando cambios bruscos de dirección de los motores para reducir el amperaje consumido por éstos. Sin embargo, no se logró un resultado satisfactorio en la reducción de los falsos positivos en la detección del fuego. Debido a que se deseaba lograr resultados confiables en la detección de fuego, finalmente se optó por mantener en tarjetas distintas la lectura del sensor de fuego y el control de los motores. Por esta razón se utiliza adicionalmente la tarjeta Arduino Micro.

Tabla 1. Detección de fuego a distintas distancias.

Distancia (m)	Porcentaje de detección (%)	Ciclos promedio entre detecciones
1	92	1,1
2	96	1,0
3	86	1,2
4	60	1,7
5	50	2,4
6	31	3,3
7	15	6,9
8	8	11,0

Para conocer el comportamiento del sistema bajo esta configuración se realizaron 10 pruebas de 5 minutos cada una donde Bioleta Mata navega en un ambiente de 3.5 x 2.5 m con obstáculos, sin la presencia de fuego. En todos los experimentos se obtuvieron 0 ocurrencias de falsos positivos en la detección de fuego.

Por otra parte, se midió el desempeño del sistema en la detección de fuego. La Tabla 1 muestra la proporción de veces que el fuego de un yesquero fue detectado por el sensor, colocando el yesquero a nivel del suelo y sin obstáculos entre el sensor y el yesquero. En cada ciclo del programa se registra en un archivo si la llama fue detectada por el sensor o no, durante un período de 15 seg. Esta tabla muestra el promedio redondeado a 1 dígito decimal de 10 repeticiones para cada distancia. La Fig. 3 muestra el mensaje “FUEGO” que se imprime en la pantalla de la computadora externa cada vez que el sensor de fuego es activado.



Figura 3. Detección de fuego.

La mejor detección del fuego se alcanzó a una distancia de 2 m entre la llama y el sensor. Debido a que en todos los experimentos el yesquero se colocó a nivel del suelo, mientras que el sensor está a una altura de 20cm en la parte posterior del vehículo, es posible que la propia Bioleta haya obstaculizado la lectura del sensor a cortas distancias. Esa sería una posible explicación al desempeño ligeramente inferior en los experimentos realizados a 1m de distancia.

No se consideró reubicar el sensor en el vehículo debido a que la detección a 1 m es de todos modos muy buena, además de que se desconoce a qué altura se encontrarán las llamas que se produzcan en el ambiente.

A pesar de que a distancias mayores de 5 m el sensor detecta la llama del yesquero con poca frecuencia, hay que tener en cuenta que en el peor caso (8 m) el sensor fue capaz de detectar la llama del yesquero. En una situación de fuego real, una detección esporádica podría salvar igualmente a Bioleta del fuego. Por otra parte, la llama de un yesquero a 8 m de distancia no representa un peligro verdadero para la planta. Restaría analizar el comportamiento del sensor con llamas de mayor magnitud. Adicionalmente se podrían crear diferentes comportamientos para Bioleta dependiendo de la frecuencia con que el fuego es detectado.

3. COMUNICACIÓN Y PROCESAMIENTO EXTERNO DE INFORMACIÓN

Bioleta Mata se comunica de forma inalámbrica con una laptop por medio de radios XBee. La computadora ejecuta un programa en el lenguaje de programación Processing 1.5, que se encarga del procesamiento de la realidad aumentada y de enviar tweets utilizando el API de Twitter.

3.1. Xbee

La comunicación inalámbrica entre el vehículo de Bioleta Mata y la computadora externa se realiza a través de módulos de radio XBee (<http://www.digi.com/XBee/>). Como el proyecto actualmente consta de una sola planta, se utilizan módulos XBee de conexión punto a punto bajo el modo de comunicación transparente (comandos AT). La comunicación es bidireccional. La tarjeta Arduino UNO notifica a la computadora externa cuando detecta la presencia de fuego, mientras que la computadora externa le indica a la tarjeta UNO comandos del usuario de detener la navegación o encender los leds, emitidos con marcadores de realidad aumentada.

El XBee Pro 60 mW tiene un alcance de 1,5 km con línea de visión en ambientes de exteriores. Es conocido que ese es el alcance máximo en condiciones ideales, y que el rango del XBee se reduce en ambientes de interiores al verse afectado por paredes, puertas y otros obstáculos. En ambiente de interiores el alcance se puede reducir a 90 m (Digi International Inc.). Por esta razón se realizaron experimentos para determinar si los XBee disponibles serían adecuados para la comunicación en el ambiente de interior de Bioleta Mata.

En un laboratorio de 42 m² con paredes internas sólidas se probó la comunicación de los radios XBee. La comunicación se mantuvo aunque los radios no tuviesen línea de visión, al estar separados por paredes, puertas cerradas de madera, de vidrio, y de seguridad (combinada de metal y madera). En ese mismo laboratorio se dispone de un router inalámbrico TP-Link modelo TL-WR740N. Una laptop Mac-Book Pro (2013) se conecta al router desde cualquier punto del laboratorio. Sin embargo, al probar la conectividad entre el laboratorio y el pasillo exterior (separados por puerta de seguridad y paredes sólidas) se encontró que la laptop era capaz de mantener su conexión al router hasta a 11 m de distancia, mientras que la comunicación de los radios XBee se mantuvo hasta 25 m. No se realizaron pruebas a distancias mayores por limitaciones de la infraestructura.

Se concluyó entonces que los radios XBee disponibles eran suficientes para la comunicación de Bioleta Mata en su ambiente.

3.2. Realidad aumentada

Se utilizó la librería de realidad aumentada NyARToolkit (<http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/>) tomando como base el tutorial de Owed (2011). Se utilizan 7 marcadores distintos:

- Tres árboles: se utilizan 3 marcadores para crear 3 árboles recursivos 3D distintos (Fig. 4), generados aleatoriamente con la librería de Giovanni Carlo Mingati (<http://openprocessing.org/sketch/6991>).

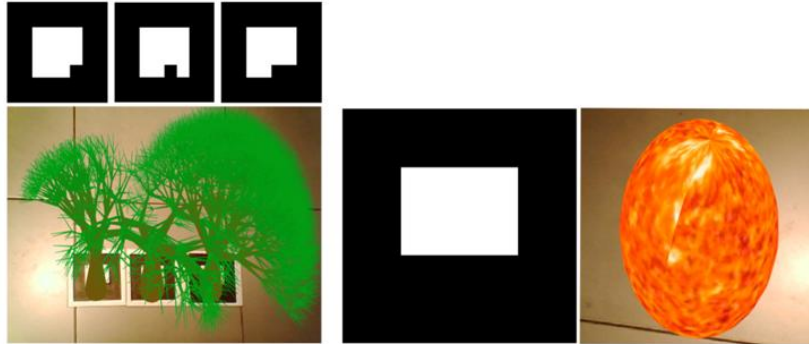


Figura 4. Izquierda: Marcadores de árboles y árboles 3D de realidad aumentada. Derecha: Marcador del sol y video del sol sobre una esfera.

- Sol: se utiliza 1 marcador para crear una esfera que representa el sol (Fig. 4). Esta esfera es construida en Processing utilizando triángulos. La esfera se envuelve con un video de imágenes reales del sol publicadas por la NASA en el video *"Haunting Images from the sun"* (<https://www.youtube.com/watch?v=70Wrc2upMGQ>). El video fue convertido a formato ogv para su utilización con la librería POGG, (<http://www.activovision.com/pogg/doku.php?id=pogg>) la cual permite proyectar un video sobre un polígono.
- Paisaje: se utiliza 1 marcador para crear un paisaje utilizando 2 imágenes 2D que representan un día nublado y un día claro con un arcoiris (Fig. 5). Al ser detectado el marcador de paisaje, además de mostrar la imagen de día nublado se proyecta sobre la imagen una simulación de lluvia. De esta forma se simula que llueve sobre Bioleta Mata. La lluvia se detiene y aparece un arcoiris en el paisaje cuando es detectado adicionalmente el marcador de "Pare".



Figura 5. Marcador de paisaje y sus dos modalidades de imagen 2D.



Figura 6. Izquierda: Marcador de comando pare e imagen 2D. Derecha: Marcador de encender leds e imagen 2D.

- Pare (Stop): Se utiliza 1 marcador para indicarle a Bioleta Mata que se detenga (Fig. 6). Adicionalmente se detiene la lluvia y aparece un arcoiris si el marcador de paisaje está visible. Al dejar de detectarse este marcador, Bioleta continúa su navegación. Sobre el marcador se coloca una imagen 2D de la señal de pare.
- Luces: se utiliza 1 marcador para indicarle a Bioleta que encienda sus leds. Al dejar de detectarse el marcador, los apaga. Sobre el marcador se coloca una imagen 2D de luces (Fig. 6).

La realidad aumentada permite presentarle a los observadores una versión más llamativa del ambiente de interiores en el cual se encuentra Bioleta Mata. De esta forma se les invita a interactuar más con la planta, especialmente gracias a los marcadores de los comandos de Pare y Luces. La Fig. 7 muestra un ejemplo de cómo se ven juntos un árbol virtual y Bioleta Mata. Se realizaron experimentos para determinar a qué distancias y ángulos los marcadores eran identificados por la aplicación utilizando una cámara web convencional. Se poseen dos tamaños de marcadores: los marcadores de objetos del ambiente (árboles, sol, paisaje) de 16 x16 cm y los marcadores de comandos (pare, luces) de 3,5 x 3,5 cm. Los marcadores de comandos son pequeños porque están hechos para que las personas los manipulen fácilmente y los coloquen frente a la cámara.

La Tabla 2 muestra los resultados de detección en la mayor distancia de detección para los dos tamaños de marcadores, en 50 intentos para cada tamaño de marcador. La detección de marcadores aún es muy sensible a iluminación, distancia y ángulo del marcador en la imagen. Sin embargo, las distancias máximas de detección obtenidas son suficientes para lograr una interacción entre las personas y Bioleta Mata. Aunque la detección no es robusta, se ha podido notar que la reducida detección de los marcadores, motiva a las personas que interactúan con el sistema a dirigir cuidadosamente los marcadores hacia la cámara para lograr observar la realidad aumentada. Se espera lograr mejorar la detección de marcadores y poder medir la aceptación de estos por las personas que interactúan con el robot.

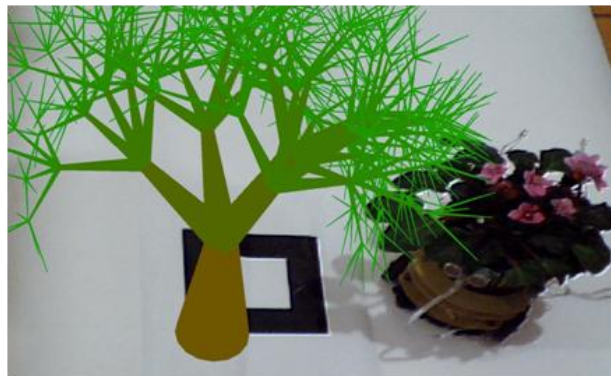


Figura 7. Bioleta Mata y árbol de realidad aumentada.

Tabla 2. Detección de marcadores a distancia máxima.

Tamaño del marcador (cm x cm)	Distancia máxima de detección (cm)	Ángulos de detección (grados)	Porcentaje de detección (%)
16 x 16	270	-45 a 45	66
3,5 x 3,5	60	-15 a 15	42

3.3. Twitter

Cuando el sensor Hamamatsu detecta fuego, Bioleta Mata lo notifica por comunicación serial XBee a la computadora remota. Si la opción de enviar tweets está activa, la aplicación en Processing se encarga de enviar un tweet de notificación de fuego a través del API de Twitter. Este API utiliza el sistema OAuth, que permite a los usuarios autenticar aplicaciones sin que el desarrollador tenga acceso a la información privada del usuario. OAuth utiliza cuatro parámetros: Consumer key, consumer secret, access token y access token secret. Con esas claves y el texto de alerta se compone un mensaje en formato JSON que el cliente http envía al API de Twitter.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Bioleta Mata es una planta capaz de navegar por ambientes de interiores, evitando obstáculos y reaccionando a algunos estímulos que detecta en el ambiente, tales como luz solar, fuego y comandos de un humano por medio de marcadores de realidad aumentada. Algunos componentes del sistema se procesan en una computadora remota por las limitaciones actuales de la tarjeta Arduino disponible.

Evidentemente el comportamiento de recibir luz es un sobre-simplificación del cuidado que debe recibir una planta. En el futuro este comportamiento puede sustituirse por la navegación hacia un lugar específico del ambiente donde reciba luz solar durante el tiempo que la planta lo amerite. De igual forma, la lluvia de realidad aumentada puede sustituirse por una estación de riego de la planta, de acuerdo a las necesidades de la especie y a la lectura del nivel de humedad de la tierra de su maceta. En el pasado se ha experimentado con el uso de sensores de humedad, pero este proyecto aún no dispone de un sensor suficientemente confiable como para ser incorporado a Bioleta.

Se desea mantener pequeño el tamaño del vehículo de Bioleta por motivos económicos, estéticos y funcionales, pero también para que el robot no represente un peligro o amenaza para los seres humanos y así facilitar su interacción con la planta. Por esta razón se ha descartado el uso de una laptop en el vehículo y se ha optado por una comunicación con una computadora externa. De igual forma se ha descartado el uso de grandes sensores como por ejemplo el Kinect.

Sin embargo, para próximas versiones de Bioleta Mata se está considerando la incorporación de una tarjeta Raspberry Pi con cámara, y posiblemente de una tarjeta Arduino Yún, que incorpora wifi y una distribución de linux.

Aunque se cuenta con la posibilidad de añadir un *shield* wifi a la tarjeta Arduino actual, hasta ahora se ha preferido el uso de XBee, tomando en cuenta que se puede construir una red de largo alcance y con comunicación más robusta por la redundancia de vías para el flujo de información. En la actualidad solo se cuenta con una comunicación punto a punto entre el vehículo y la computadora externa, pero se mantiene la idea de poder contar con un grupo de plantas desplazándose a un sitio seguro al detectar el fuego. La ampliación del proyecto a un grupo de plantas con vehículos inteligentes traerá consigo los retos inherentes a navegación y comunicación grupal.

La incorporación de procesamiento de imágenes en el vehículo permitirá abordar problemas de posicionamiento y navegación hacia un sitio seguro. Se pudieran utilizar marcadores de realidad aumentada para guiar a Bioleta o utilizar hitos naturales del ambiente. No está planteado por el momento la navegación en ambientes de exteriores ni el posicionamiento con GPS.

El incendio del vivero ha servido como motivación para el desarrollo de este proyecto. Claramente un enfoque de ambientes inteligentes en el cual la infraestructura física cuente con los sensores necesarios, sistemas de seguridad contra incendios y comunicación directa con los cuerpos de seguridad sería más apropiado para resolver el problema original. Bioleta Mata en cambio avanza a convertirse en una planta móvil que responde a diferentes estímulos que encuentra en su ambiente. En trabajos futuros se podrá intentar explorar si una muestra de personas tiene preferencia significativa por Bioleta Mata sobre una planta convencional.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Marynel Vázquez por hacer realidad las primeras versiones de Bioleta Mata, y por estar siempre pendiente de ella.

REFERENCIAS

- Arduino, 2014. Disponible en <http://arduino.cc>.
- Ashton, K., 2009. That ‘internet of things’ thing. *RFiD Journal*, 22, 97-114.
- Atzori, L., A. Iera, G. Morabito, 2010. The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- Cassinelli, A., 2014. *Toro-bots*. Disponible en <http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/members/alvaro/works/index.html>.
- Digi International Inc., 2014. Xbee-pro rf modules. Product manual v1.xex-802.15.4 protocol. Disponible en <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>.
- Dunkels, A., J. Vasseur, 2010. IP for smart objects, internet protocol for smart objects (IPSO) alliance, white paper #1. Disponible en http://www.ipso-alliance.org/wp-content/media/why_ip.pdf.
- Giesler, B., T. Salb, P. Steinhaus, R. Dillmann, 2004. *Using augmented reality to interact with an autonomous mobile platform*. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA’04, 1, 1009-1014.
- Green, S.A., X. Chen, M. Billingham, J.G. Chase, 2008. *Collaborating with a mobile robot: An augmented reality multimodal Interface*. In: Proc. 17th IFAC World Congress (IFAC WC2008).
- Hashimoto, S., A. Ishida, M. Inami, T. Igarashi, 2011. *Touchme: an augmented reality based remote robot manipulation*. In: 21st Int. Conf. on Artificial Reality and Telexistence, Proc. of ICAT2011.
- Höllner, T.H., S.K. Feiner, 2004. *Mobile augmented reality*. In: Karimi, H., A. Hammad (Eds.), *Telegeoinformatics: Location-based computing and services*. Taylor & Francis Books Ltd., Ch. 9, 39 pp.
- Holmes, K., 2013. Robotic trash can catches the garbage you throw away. Disponible en <http://thecreatorsproject.vice.com/blog/robotic-trash-can-catches-the-garbage-you-throw-away>.
- Kawakami, A., K. Tsukada, K. Kambara, I. Sii, 2011. *Potpet: pet-like flowerpot robot*. In: Proc. 5th Int. Conf. on Tangible, Embedded and Embodied Interaction, 263-264.
- Kuribayashi, S., Y. Sakamoto, H. Tanaka, 2007. *I/O plant: a tool kit for designing augmented human-plant interactions*. CHI’07 Extended Abstracts on Human factors in Computing Systems. ACM, 2537- 2542.
- Milgram, P., S. Zhai, D. Drascic, J.J. Grodski, 1993. *Applications of augmented reality for human-robot communication*. In: Proc. of the 1993 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems’ IROS’93, 3, 1467-1472.
- Rinaldo, K., 2014. Augmented fish reality. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=7Pt2PuKMasY>.
- Owed, A., 2011. Augmented reality with processing. Disponible en <http://www.creativeapplications.net/processing/augmented-reality-with-processing-tutorial-processing>.