



Dispositivo de captura y envío de imágenes a un servidor remoto para monitorizar trampas para insectos en el campo

J. Blasco^{1*}, V. Alegre², A. Fereres³, S. Cubero¹, S. López¹, P. Chueca¹, S. Sanjuan⁴, N. Aleixos⁵

¹ Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). CV-315, km 10,7 – 46113 Moncada (Valencia), España; blasco_josiva@gva.es

² TRAGSA. CV-315, km 10,7 – 46113 Moncada (Valencia), España.

³ Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto de Ciencias Agrarias (ICA-CSIC), C/ Serrano 115b, 28006, Madrid, España

⁴ Agrícola Villena S. Coop. Carretera del Puerto, S/N, 03400 Villena (Alicante), España

⁵ Departamento de Ingeniería Gráfica. Universitat Politècnica de València (UPV). Camino de Vera, s/n, 46022 Valencia, España; naleixos@dig.upv.es

Resumen: En este trabajo se ha creado un prototipo para monitorizar trampas de insectos colocadas en el campo mediante la captura y envío a un servidor remoto de imágenes de los insectos atrapados. El dispositivo se ha creado sobre la base de una plataforma Raspberry PI e incorpora una cámara para capturar las imágenes, una placa de control para programar los intervalos de captura de imágenes y un modem para enviar las imágenes e información adicional a un servidor remoto mediante 3G. El dispositivo se puede programar para que capture las imágenes en momentos determinados del día o a intervalos regulares. La alimentación se realiza mediante una batería y una placa solar que aumenta su autonomía. Su implementación se ha realizado sobre trampas del tipo Irwin, consiste en una baldosa cerámica cuadrada de textura rugosa y un color y espectro de reflexión similar al de las hojas de la planta. La trampa está montada en un mástil metálico al que se sujeta mediante una pinza. La baldosa se sitúa en posición horizontal dentro de una caja de metacrilato transparente a una altura similar a la del cultivo que se rellena con una solución al 50 % de agua de etilenglicol. Los insectos se ven atraídos por la reflexión de la baldosa y quedan atrapados en el líquido. Se instalaron dos dispositivos en campos de ensayo de zanahorias en Villena (Alicante) con el objetivo de atrapar psílidos vectores de *Candidatus Liberibacter solanacearum*. Los dispositivos han funcionado correctamente durante la campaña de 2018 (Junio a Noviembre), enviando imágenes de las trampas e información climatológica a un servidor remoto cada dos horas. La programación temporal y la conectividad han funcionado bien aunque se han detectado interrupciones por temas de alimentación. El análisis de las imágenes realizado indica una buena resolución pero recomienda la mejora de la óptica para mejorar la nitidez a los insectos atrapados. Este trabajo forma parte del proyecto europeo Pest Organisms Threatening Europe, POnTE (#635646).

Palabras clave: trampa Irwin, envío de imágenes, agricultura de precisión, 3G, monitorización insectos

1. Introducción

El proyecto Pest Organisms Threatening Europe - POnTE (Research and Innovation Action H2020; Grant Agreement Number: 635646) presenta entre sus objetivos minimizar el riesgo de

introducción e impacto de algunas plagas emergentes que amenazan la agricultura de la UE, así como estudiar el papel de otras plagas conocidas asociadas con enfermedades peligrosas. Este trabajo presenta una de las actividades centrada en la instalación de una red permanente y automatizada de estaciones de muestreo de insectos transmisores de *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLsol). CaLsol es una bacteria transmitida por los psílicos a las plantas Solanaceae y Apiaceae [1][2][3]. En las zanahorias, este patógeno es transmitido por los psílicos *Bactericera trigonica* y *Trioza apicalis* [4][5]. El número de psílicos infectados con CaLsol recolectados en trampas de campo y ninfas grandes contadas en muestras de hojas se correlaciona positivamente con el porcentaje final de la enfermedad en los tubérculos. Por lo tanto, un programa de control de plagas es eficaz para controlar el desarrollo del psílido y, en última instancia, para reducir la incidencia de infección [6]. Para ello, se ha desarrollado un dispositivo capaz de adaptarse a las trampas recomendadas, capturar imágenes de los insectos atrapados y enviarlas a intervalos programables a un servidor remoto.

2. Descripción de la trampa

La trampa recomendada es de tipo Irwin, con una baldosa cerámica cuadrada de textura rugosa y un color que se asemeja al de las hojas de la planta. La reflectancia del color de la baldosa está basada en datos obtenidos del estudio de la reflectancia de las propias hojas [7]. La trampa se instala en una barra de metal vertical que se introduce en el suelo, sujeta de tal forma que permanece horizontal a la altura de la vegetación (Figura 1). La caja se llena con una solución al 50% de etilenglicol. El líquido reduce la evaporación y preserva los psílicos en mejores condiciones para su identificación. La presencia de un segundo contenedor debajo de la baldosa evita la pérdida de muestras de insectos por desbordamiento debido a las lluvias. Actualmente, el procedimiento habitual es visitar la trampa casi a diario para recoger los insectos capturados y realizar el mantenimiento de la trampa. Los insectos se preservan en una solución de alcohol al 70% y se identifican después visualmente.



Figura 1. Trampa tipo Irwin

Con el dispositivo desarrollado, se reduce la necesidad de visitar las trampas, lo que ahorra costos y aumenta la capacidad de monitoreo, ya que las imágenes se pueden capturar y enviar períodos de tiempo que se pueden programar según las necesidades (por ejemplo, cada hora). Además, no solo se pueden controlar los insectos atrapados, sino también el estado de la trampa

cuyo rendimiento puede verse afectado por la suciedad que oculta la baldosa verde, la presencia de hojas o materiales extraños que pueden caer en la trampa. Esto ahora se puede detectar más rápidamente en las imágenes. Las imágenes se envían a un servidor remoto donde se almacenan para su posterior análisis por el entomólogo (Figura 2). En la actualidad, se está desarrollando una herramienta software para ayudar en el procesamiento supervisado de las imágenes por parte de los entomólogos. Esta herramienta facilitará el proceso de conteo, clasificación, análisis y geolocalización de los insectos, especialmente teniendo en cuenta que las trampas pueden estar distribuidas en diferentes lugares.

Electronic trap 2

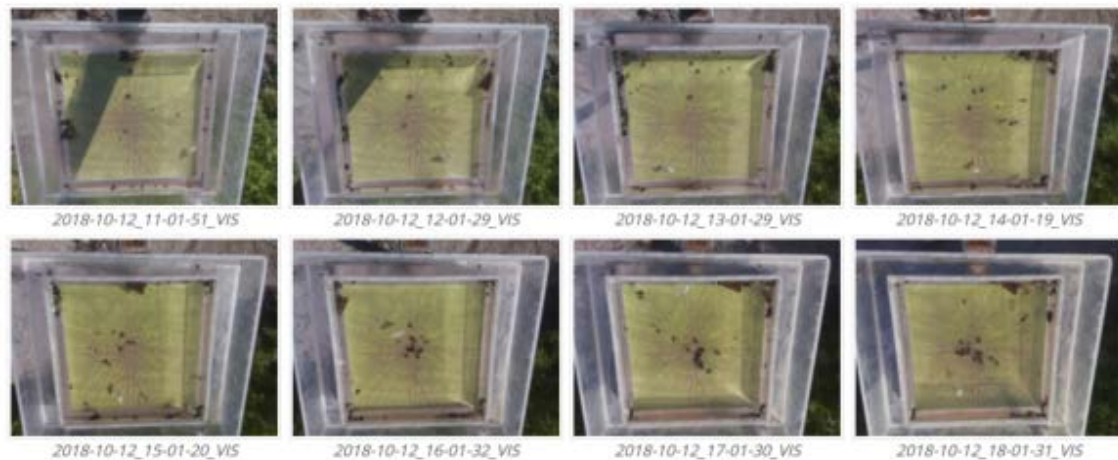


Figura 2. Vista parcial de las imágenes recibidas por el servidor.

3. Principales componentes y modo de operación

Uno de los requisitos de partida es usar elementos de bajo costo para hacerlos asequibles y de ese modo poder automatizar un elevado número de trampas a un precio reducido. Para crear el prototipo, se decidió utilizar pequeños dispositivos electrónicos programables para facilitar su montaje en cajas estancas. Estos dispositivos tienen entradas y salidas digitales y analógicas, así como diferentes tipos de puertos de comunicación estándar que permiten el uso de una amplia gama de extensiones desarrolladas para ampliar sus capacidades. Otra ventaja clave que ofrecen estos sistemas es la posibilidad de utilizar software gratuito respaldado por una comunidad de desarrolladores que están introduciendo continuamente mejoras y nuevas características en estos sistemas.

Sobre esta base, se decidió realizar la implementación sobre una plataforma Raspberry Pi y sus componentes comerciales, como la cámara CSI, cables de comunicación, etc., junto con dispositivos USB Wi-Fi / 3G, paneles solares, baterías, etc. Esta versión incluye los siguientes componentes:

- Raspberry Pi zero
- SD SanDisk Ultra 64 GB
- Witty Pi 2
- Cámara Raspberry Pi V2 (3280x2464 pixels).
- USB 3G Huawei E3531 modem
- Solar panel 6 V 6 W
- Batería LiPo 3.7 V 6600 mAh
- Cargador solar de batería

El entorno utilizado para programar fue PIXEL, (Pi Improved Xwindows Environment, Lightweight). Este sistema operativo se montó en una tarjeta SD de 64 GB con altas tasas de lectura y escritura, para ahorrar tiempo de carga y ejecución de software y de imágenes. Todo el software para controlar el prototipo se ha programado utilizando un desarrollo multiplataforma de código abierto llamado Code::Blocks. El software se desarrolló utilizando el lenguaje C++ para controlar todos los aspectos principales del sistema como la adquisición y almacenamiento de la imagen, el envío a través de 3G, el control de fallos y manejo de errores en la adquisición o envío de las imágenes o la suspensión del sistema entre capturas.

La Raspberry Pi es un módulo electrónico que consume una cantidad relativamente alta de energía, incluso en modo de suspensión. Esto tiene un gran impacto en la vida útil de la batería de un dispositivo que debe instalarse en el campo. Por ello, es necesario proporcionar otro módulo que consuma menos energía y permita la suspensión de la Raspberry (y el resto de los elementos) y encenderla solo cuando sea necesario para capturar y enviar las imágenes. Witty Pi es una pequeña placa de extensión que puede agregar reloj de tiempo real y administración de energía a la Raspberry Pi, y se ha utilizado para controlar el encendido / apagado del sistema para ahorrar batería. Este dispositivo permite programar el tiempo y los momentos en que el prototipo despierta, captura y envía las imágenes, de acuerdo con las necesidades de inspección de los entomólogos. Este dispositivo incorpora un reloj de tiempo real (RTC) que utiliza una batería de 3 V para registrar la hora programada por el usuario.

La escena a fotografiar es relativamente pequeña, ya que solo tiene que capturar la baldosa verde de la trampa (aproximadamente 20 x 20 cm) y, por lo tanto, debe ubicarse a una distancia cercana a la trampa para aprovechar el campo de visión y obtener la mejor relación mm/pixel. Sin embargo, colocar la cámara muy cerca de la trampa puede interferir con la atracción y el vuelo de los insectos.

Una vez que se adquiere la imagen de la trampa, se envía a un servidor remoto. Se estudiaron diferentes soluciones y se decidió utilizar un módem USB 3G (Huawei E3531) para establecer la conexión a través de una tarjeta SIM. Junto con la imagen, se envía un archivo de texto con la información del estado del dispositivo, algunos parámetros meteorológicos y un registro con información sobre la adquisición de la imagen, la conexión a Internet, la compresión de la imagen, la transferencia de los archivos y el cierre del sistema. Este archivo contiene información importante para la detección de errores durante el ajuste y el funcionamiento normal del sistema. La información se envía a un servidor FTP que almacena las imágenes y archivos de texto. El prototipo se instaló dentro de una caja estanca y se ha probado en un campo de ensayo cultivado con zanahoria.

4. Resultados

El prototipo (Figura 3) se probó durante las campañas de 2017 y 2018, programado para enviar imágenes cada dos horas. La cámara pudo enviar imágenes de los insectos atrapados, la ubicación y la temperatura del campo con éxito a un servidor remoto. Sin embargo, fue difícil obtener imágenes nítidas debido al difícil ajuste del enfoque de la cámara. Para obtener buenas imágenes, fue necesario colocar el sistema a menos de 30 cm de la trampa, lo que pudo interferir con el vuelo de los insectos y su aterrizaje en la trampa.



Figura 3. Detalle del prototipo construido

Otro problema encontrado fue que los niveles de batería del sistema disminuyeron progresivamente en el campo, lo que no se observó durante las pruebas de laboratorio. Probablemente ocurrió debido a la situación del panel solar en el campo, cerca de algunos árboles que podrían ensombrecer la trampa, o por problemas de baja cobertura de 3G que obligaron a reintentos continuos para enviar las imágenes. En el campo de ensayo la cobertura era escasa, lo que en ciertos momentos provocó transferencias muy lentas o fue directamente imposible realizarlas con éxito. Para resolver posibles fallos de comunicación, se programó un protocolo de transferencia que detecta estos fallos almacena los datos en una cola para posteriores intentos. Sin embargo, los reintentos continuos acortaron la vida útil de la batería, por lo que después de 15 reintentos, el equipo se suspende hasta la próxima sesión.

El coste de todos los materiales fue inferior a 100 €, que estaba por debajo de las especificaciones iniciales. El dispositivo funcionó relativamente bien en su fase de desarrollo enviando las imágenes según lo previsto aunque presentó los problemas descritos que se están solucionado en un segundo prototipo. Estos son los principales aspectos críticos que se han tenido en cuenta:

- Posición de la cámara. Es necesario ubicar la cámara cerca de la trampa, pero de manera que no interfiera con el vuelo de los insectos. Para ello, un segundo prototipo coloca la cámara en una pequeña caja a una altura ajustable, permitiendo mejorar el enfoque.
- Mejora de la calidad de la imagen con la incorporación de una cámara con óptica ajustable.
- Reducción del consumo energético. Al reducir el consumo de energía, es más factible mejorar la estabilidad del sistema, optimizando las cargas de la batería en ciclos más efectivos.
- Control de carga inteligente que muestra los niveles de la batería en cada momento, lo que ayuda a detectar problemas cuando ocurren varios días nublados o lluviosos seguidos.
- Mejora de la gestión de errores y del reintento en el envío en condiciones de poca cobertura.

- Control de la temperatura del sistema para conocer la temperatura alcanzada por la electrónica, ya que podría ser un motivo de errores en el funcionamiento del sistema o la eficiencia de las baterías de litio.

5. Conclusiones

Se ha desarrollado un dispositivo que se instala en una trampa horizontal tipo Irwin para capturar psílidos transmisores de *CaLsol*. El dispositivo permite programar el intervalo de captura y envío de las imágenes. Estas se transmiten, junto otra información de interés a un servidor remoto donde son accedidas por los expertos. Durante los ensayos en campo se los dispositivos se programaron para adquirir una imagen cada dos horas. Se observaron fallos debido a la mala cobertura de la zona que hacía que la batería se consumiera rápidamente debido a los reintentos en el envío. Además, es necesario aumentar la calidad de las imágenes para distinguir con mayor facilidad los insectos. Se está realizando un rediseño completo para incorporar las mejoras necesarias para su correcto funcionamiento.

6. Agradecimientos

Este trabajo está parcialmente financiado por fondos de la Unión Europea a través del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 a través del proyecto No. 635646 POnTE (Pest Organisms Threatening Europe).

Referencias

1. Alfaro-Fernández A., Siverio F., Cebrián M.C., Villaescusa F.J., Font M.I. (2012) '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' Associated with *Bactericera trigonica*-Affected Carrots in the Canary Islands. *Plant Dis.* 96, 581–581.
2. Munyaneza J.E., Sengoda V.G., Stegmark R., Arvidsson A.K., Anderbrant O., Yuvaraj J.K., Rämert B., Nissinen A. First Report of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' Associated with Psyllid-Affected Carrots in Europe. *Plant Dis.* 2010, 94, 639–639.
3. Munyaneza J.E., Crosslin J.M., Upton J.E. Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with 'zebra chip,' a new potato disease in southwestern United States and Mexico. *J. Econ. Entomol.* 2017, 100, 656–663.
4. Antolínez C.A., Fereres A., Moreno A. Sex-specific probing behaviour of the carrot psyllid *Bactericera trigonica* and its implication in the transmission of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*'. *European journal of plant pathology.* 2017, 147, 627-637.
5. Antolínez C.A., Fereres A. Moreno A. Risk assessment of '*Candidatus Liberibacter solanacearum*' transmission by the psyllids *Bactericera trigonica* and *B. tremblayi* from Apiaceae crops to potato. *Scientific reports.* 2017, 7, 45534.
6. Goolsby J.A., Adamczyk J.J.Jr., Crosslin J.M., Troxclair N.N., Anciso J.R., Bester G.G., Bradshaw J.D., Bynum E.D., Carpio L.A., Henne D.C., Joshi A., Munyaneza J.E., Porter P., Sloderbeck P.E., Supak J.R., Rush C.M., Willett F.J., Zechmann B.J., Zens B.A. Seasonal Population Dynamics of the Potato Psyllid (Hemiptera: Trioizidae) and Its Associated Pathogen "*Candidatus Liberibacter solanacearum*" in Potatoes in the Southern Great Plains of North America. *Journal of Economic Entomology.* 2012, 105, 1268–1276.
7. Irwin M.E., Ruesink W.G. Vector intensity: A product of propensity and activity, In: *Plant virus epidemics: Monitoring, modeling and predictions outbreaks* (ed. by GD McLean, RG Garrett & WG Ruesink), 1986, Academic Press Australia.