



Mayo 2018 - ISSN: 1696-8352

ESTADO DEL ARTE DE ROBOTICA EN LA AGRICULTURA

Fausto Ramiro Cabrera Aguayo¹

Profesor de la carrera de Ingeniería Electrónica en Control y redes Industriales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, fausto.cabrera@espoch.edu.ec

Ronald Marcelo Barcia Macias²

Estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica en Control y redes Industriales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, rbarcia_m93@hotmail.com.

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Fausto Ramiro Cabrera Aguayo y Ronald Marcelo Barcia Macias (2018): "Estado del arte de robótica en la agricultura", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, (mayo 2018). En línea:

<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/05/robotica-agricultura.html>

Resumen.- El presente trabajo es un estado del arte del avance de la robótica en la agricultura, se mencionan los trabajos más destacados a consideración de la tarea que realiza, la intención es identificar el uso de determinadas morfologías de robots móviles que realizan tareas repetitivas, pesadas, peligrosas o desagradables para el ser humano, justificando de ésta manera el gran campo de investigación que abre ésta necesidad. Se parte de la justificación de la investigación presentada, en la cual se introduce un término clave que se maneja mucho actualmente, la denominada "Agricultura de precisión", que se enfoca en maximizar los resultados y productividad, mientras se utilizan sin discriminación grandes cantidades de recursos y extensiones de tierras. Partiendo de ello, se analizan varios diseños de robots en la agricultura, tras realizar el estudio se establece que debido a las diversas tareas que se realizan en la actividad agrícola, una verdadera contribución se lograría al crear un robot multipropósito.

Abstract.- The present work is a Robotics in Agriculture Art State, where is reviewed the robotics in the agriculture advances, It is mentioned the more outstanding works considering the application field, the intention is identify the use of a determined mobile robot morphologies who realize repetitive, heavy, danger and unpleasant tasks for the man, justifying in this way the grate investigation field that this topic open. It start from the justification of the present investigation, where an important term is introduced, it is called "Precision Farming", It is focused in maximize results and production, while great amount of means and land extensions are used. Starting from it, various robots in the agriculture designs are analyzed, then, there are a lot of activities to do in farm process, the creation of a multipurpose robot will be a true contribution.

Palabras clave.- Agricultura-Estado del Arte-Agricultura de precisión-robot-robot móvil-diseño.

Key words.- Agriculture-Art State-Precision Farming-robot-mobile robot-designee.

1. INTRODUCCIÓN.

Los problemas acerca de la seguridad alimentaria han crecido en los últimos años. La población humana y la demanda de comida está creciendo rápidamente pero los recursos agrícolas se están reduciendo.

Muchos factores han contribuido a esta situación; una población más vieja de fuerza de trabajo agrícola, con generaciones más jóvenes optando por carreras urbanas, el uso de las tierras para agriculutra para biocombustibles y energías alternativas, entre otros. Más preocupante, se

¹ Ingeniero en Electrónica Control y Redes Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador, Máster en Automática y Robótica de la Universidad Politécnica de Madrid-España.

²Estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador, carrera de Ingeniería en Electrónica Control y Redes Industriales.

espera que estos factores se incrementen con el transcurso de los años, trayendo alarmas socio-económicas alrededor del mundo(USDA Agricultural Projections to 2026 Interagency Agricultural Projections Committee USDA Long-term Projections 2017).

Esto ha llevado al origen de la *Agricultura Corporativa*; más conglomerados operan grandes extensiones de tierra con la filosofía de la *agricultura de precisión*; que se enfoca en maximizar los resultados y productividad, mientras se utilizan sin discriminación grandes cantidades de recursos y extensiones de tierras (Eaton et al. 2008).

Al igual que con otras industrias, la eficiencia en procesos requiere de automatización y eliminación de problemas inherentes del factor humano, lo cual lleva a un gran interés en incorporar a la robótica en la industria de la agricultura. Esto a llevado a muchos desafíos tecnológicos y de ingeniería, lo que implica incrementar el interés en investigación en el área de *robots móviles agricultores* y *agricultura de precisión autónoma*.

Esto ha llevado a un creciente interés en el desarrollo de robots con aplicaciones en la agricultura, con una inversión global que se proyecta a aumentar de \$817 millones en el 2013 a más de \$16 billones en el 2020.

Organizaciones alrededor del mundo están experimentando con robots móviles, manipuladores, humanoides y drones en varias aplicaciones de agricultura. Los robots han sido probados en tareas como cosecha, recolección, pastoreo, entre otras.

Se han producido varios casos exitosos en estas áreas de investigación; en los últimos cinco años, los robots se han introducido exitosamente en la industria agrícola alrededor del mundo; los robots golpean el caucho y trabajan la tierra en India, recolectan frutas cítricas en los Estados Unidos, cosechan tomates y recolectan fresas en China (Simon 2010)(Gollakota and Srinivas 2011)(Aloisio et al. 2012)(Jun, Zhou, and Xiaodong 2012)(Qingchun et al. 2012).

Otros casos incluyen robots impulsados con energía solar que recolectan datos sobre plameras en Arabia Saudita, robots sembrando arroz y transportando otras plantas en Japón, y robots inspeccionando la irrigación de agua en Tailandia (Shukla and Jibhakate 2011)(Aljanobi, Al-hamed, and Al-Suhaibani 2010)(Tamaki, Nagasaka, and Kobayashi 2009)(Sakai et al. 2007)(Ruangwiset and Higashino 2012). Robots móviles también cosechan espárragos blancos y otros productos en Grecia (Chatzimichali, Georgilas, and Tourassis 2009).

2. DISEÑOS DE ROBOTS EN AGRICULTURA

Los robots con aplicaciones en agricultura, los cuales operan en exteriores y en terrenos difíciles, tienen un conjunto único de desafíos tecnológicos y de ingeniería que usualmente no se presentan en robots que trabajan en interiores. Estos problemas específicos de los robots agrícolas son el centro de los enfoques de diseño de los robots.

Analizando varias publicaciones acerca de estos desafíos, se ha encontrado que los investigadores se enfocaron en las siguientes áreas:

- Navegación específica en Agricultura
- Procesamiento de Imágenes en Agricultura
- Manejo de Terrenos Difíciles en Agricultura

Los investigadores abordaron problemas tales como navegación en terrenos difíciles, manejo de deslizamiento de las ruedas, iluminación de luz natural y efectos en la calidad de procesamiento de imagen, los efectos de la vegetación en la localización, estabilidad del movimiento de tractor y remolque, diseño mecánico, entre otros. Para detalles específicos y referencias, véase en (Hajjaj and Sahari 2014).

2.1. Maquinaria Agrícola no Tripulada

¹ Ingeniero en Electrónica Control y Redes Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador, Máster en Automática y Robótica de la Universidad Politécnica de Madrid-España.

²Estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador, carrera de Ingeniería en Electrónica Control y Redes Industriales.

2.1.1. Cosechadora Combinada no Tripulada

Del estudio de técnicas de operación automática de maquinaria agrícola surgió una cosechadora combinada no tripulada, la cual se muestra en la Fig. 1, construida en 1976, la cual atrajo mucho la atención. Una cosechadora combinada es una máquina combinada de recolección y trilla que consiste en un dispositivo móvil, una podadora y una trilladora; es decir, corta pajuelas de grano, trilla y clasifica los granos, y los empaqueta en un saco o los almacena en un tanque de granos. En Europa y América, se utiliza una trilladora grande como cosechadora combinada en la que todo el cultivo, incluida la paja, las hojas y el grano, se alimenta a través de un transportador de cadena y se trilla. Sin embargo, una cosechadora japonesa no es muy grande, porque solo la cabeza de arroz o cebada se alimenta a la sección de trilla con las pajitas más pequeñas sostenidas por cadenas.

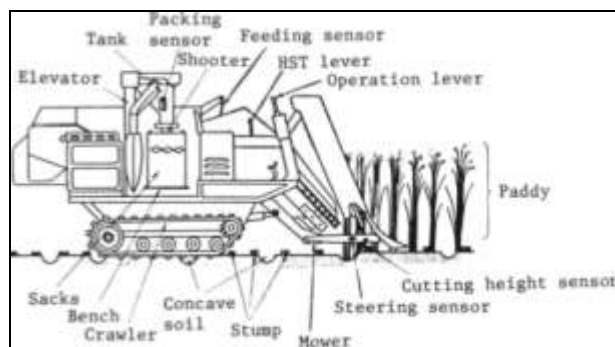


Fig. 1: Cosechadora no tripulada (Kawamura and Namikawa 1988).

El sistema de guía de esta cosechadora no tripulada se muestra en la Fig. 2. La cosechadora se desplaza a lo largo de hileras sin cortar, recogiendo el cultivo, de acuerdo con la señal de sus sensores de guía de tipo táctil que tocan la parte inferior del cultivo. La operación comienza desde las filas exteriores en un campo y una vez que se cosechan estas filas, la cosechadora gira automáticamente en sentido contrario a las agujas del reloj, como si un operador manejara la máquina. Cuando se cosecha todo el cultivo, la cosechadora deja de funcionar.

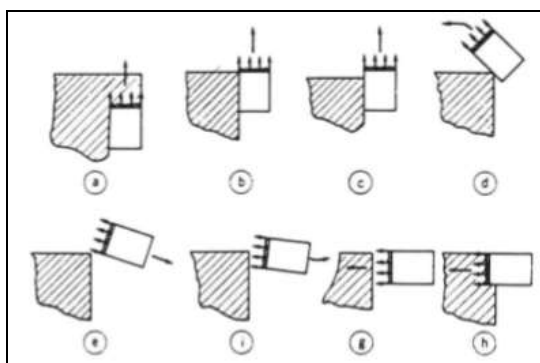


Fig. 2.: Patrones de giro de una cosechadora no tripulada al final de una fila (Kawamura and Namikawa 1988).

2.1.2. Una Aplicación de Fumigación con Pesticidas.

La fumigación con pesticidas puede no implicar un trabajo muy duro, pero puede ser dañino para el cuerpo humano. La operación no tripulada se ha estudiado para tal trabajo de pulverización. Los árboles frutales han sido plantados por muchos años y el rociador de huertos trabaja muchas veces al año, viajando por el mismo camino en un huerto. Los pulverizadores de chorro de aire autopropulsados se han usado a menudo en huertos de manzanas y perales. Consisten en boquillas unidas radialmente en una tubería semicircular, y el pesticida es rociado hacia arriba por aire presurizado generado por un soplador grande para expulsar gotitas a otros lugares. Este pulverizador generalmente es conducido por un operador; sin embargo, el control no tripulado de este pulverizador se ha probado en el Instituto de Maquinaria Agrícola. Se instalaron cables de alambre con una corriente de alta frecuencia en el huerto y se hizo un dispositivo de dirección automático con sensores magnéticos para llevar el rociador a lo largo de las hileras de árboles. Se han llevado a cabo experimentos en los que se roció el pesticida solo contra árboles frutales al detectar su presencia mediante sensores infrarrojos, de modo que se redujo la cantidad de pesticida desperdiciado y se redujo el peligro derivado de la deriva. El estado de un árbol frutal pulverizado también se controla mediante sensores de deposición fijados al árbol y se transmitieron al rociador de chorro de aire circulante a través de señales de radio FM (Hashimoto et al. 2001). El pulverizador fue impulsado por un operador en este experimento, pero estos experimentos se realizaron presuponiendo el pulverizador no tripulado antes mencionado. En la Fig. 3 se muestra un diagrama esquemático del pulverizador experimental. Un sensor infrarrojo (A) detectó el tronco de un árbol para señalar el inicio de la pulverización, y cuando otro sensor (B) detectó el mismo tronco después de una corta distancia de pulverización detenido. La condición rociada de un árbol frutal fue detectada por dos sensores de deposición, que estaban hechos de una placa de plástico de cobre impreso (3 cm x 5 cm) con ranuras de 0.6 mm de ancho. La tasa de deposición del pesticida en los sensores

de deposición fue calibrada por la resistencia eléctrica y la señal de voltaje fue transmitida por los transmisores de FM al receptor de FM montado en el pulverizador de aire comprimido.

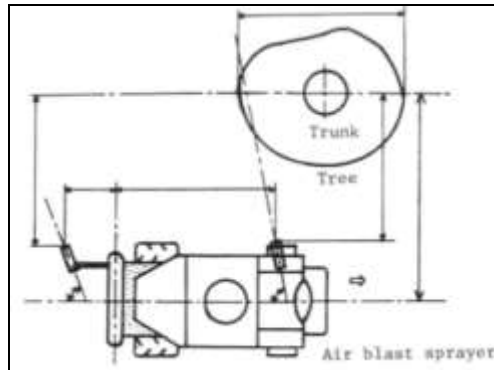


Fig. 3.: Rociador de chorro de aire no tripulado (Kawamura and Namikawa 1988).

2.1.3. Control Automático de un Tractor.

Una cierta compañía ha desarrollado un tractor no tripulado equipado con una cortadora de césped, pero este tractor no es lo que se denomina un robot y, además, es operado por una persona que lo monta. En el trabajo de labranza, que es el trabajo agrícola principal donde se usa un tractor, se han utilizado sistemas de control electrónico. La mayoría de los tractores agrícolas están equipados con un sistema de control de tiro hidráulico para tirar de los implementos. Este sistema detecta la fuerza de tracción por deflexión del muelle y controla la fuerza de tracción controlando la profundidad de labranza con el dispositivo hidráulico. Hay dos factores que pueden cambiar el calado del arado: la profundidad de labranza y la condición del suelo.

En Japón, una cultivadora rotatoria se usa ampliamente como implemento para labrar los campos de arroz, por lo que se investigaron dos salidas o sistemas de control para cambiar la profundidad y el paso de la labranza (KAWAMURA et al. 1984). La Fig. 4 muestra nuestra investigación sobre el sistema de control de microcomputadora. Se detectaron las siguientes señales: (1) la velocidad de desplazamiento, (2) la fuerza de reacción de labranza, (3) la profundidad de labranza, (4) la altura de la posición de montaje de la cultivadora, (5) los rpm del motor. El modo de control era controlar la profundidad de labranza y el paso al juzgar las causas de la fluctuación del par de labranza. En los casos en que el par se modificó por inclinación o hundimiento del tractor, se controló la profundidad de labranza; en los casos en que el par se modificó por un cambio en la dureza del suelo, el paso de labranza y la profundidad se variaron para mantener el par constante.

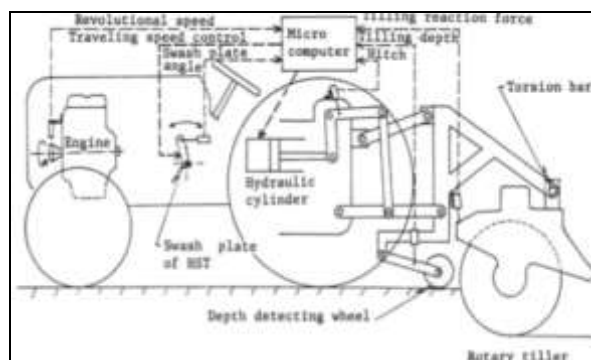


Fig. 4.: Tractor con control por microcomputadora (Kawamura and Namikawa 1988).

Los tractores con control electrónico de posición o control de nivel de la cultivadora giratoria se han utilizado en Japón, y los sistemas de dirección automática para tractores e implementos se han investigado en varios países.

2.2. Robots Cosechadores de Frutas.

2.2.1. Concepto del Robot Cosechador de Tomates.

Un robot autopropulsado para recoger tomates en un invernadero se hizo como un experimento (KAWAMURA et al. 1984). La Fig. 5 es un diagrama esquemático de este robot. Consistía en un pequeño automóvil que viajaba entre crestas, un manipulador articulado, una cámara de televisión en color y un circuito de control con una microcomputadora. Tal robot debería proporcionar las siguientes características y condiciones. Se requiere un robot de tipo inteligente porque debe buscar tomates maduros entre las hojas y tallos y guiar los dedos del manipulador hacia la fruta objetivo. Para viajar en el espacio estrecho entre dos filas, debe ser compacto y poder girar en un radio pequeño. El costo inicial de este robot y unidad debe mantenerse bajo debido a su uso previsto en la agricultura. El posicionamiento preciso del manipulador no es tan importante porque los tallos y las frutas a veces se mueven con el viento y también las frutas cambian ligeramente de posición cuando se tocan con el dedo del manipulador. El costo de cosechar una fruta aumentaría si se necesitaran 1 o 2 minutos para cosechar una fruta, por lo que se necesita una operación rápida. Al enumerar estas condiciones, se podrían determinar las características especiales de un robot agrícola en comparación con un robot industrial.

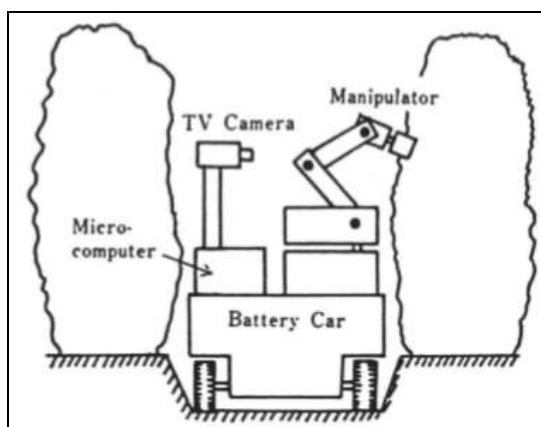


Fig. 5.: Robot cosechador de tomates (Kawamura and Namikawa 1988).

2.2.2. Prototipo de Pruebas

El carro de la batería que se muestra en la Fig. 5 tenía dos baterías de 12 V y 70 Ah, y la velocidad de desplazamiento se cambió en dos pasos de 0,52 m / s y 0,25 m / s. Se conectaron dos interruptores de límite en ambos lados en la parte delantera del automóvil en la parte inferior para detectar las pendientes de las crestas y para hacer que el robot se desplazara a lo largo de las crestas. Cuando se detuvo el coche de la batería, la cámara de televisión escaneó los tomates, y el manipulador cosechó todas las frutas que aparecían en la imagen. Cuando finalizó la recolección, la batería recorrió la distancia establecida y se realizó la misma operación. Se utilizó un microordenador de tipo placa de ocho bits disponible en el mercado cuya CPU era casi equivalente a un MC6800. El pulso del reloj era de 1 MHz y la memoria reservada era de aproximadamente 9 kB con memorias de elementos de imagen.

Se usó una cámara de televisión en color con un sensor de imagen MOS; tenía una lente gran angular (distancia focal = 10 mm) con exposición manual y la distancia focal se corrigió en este experimento. Teniendo en cuenta las diferencias en la reflectancia entre los tomates y las hojas, los factores de reflectancia de las hojas son ligeramente inferiores en la región del infrarrojo cercano; sin embargo, los factores de reflectancia de los tomates a 600-700 nm (región roja) fueron mayores que los de las hojas. Los factores de reflectancia de las hojas son pequeños en esta región porque la luz es absorbida por la clorofila en las hojas. Hubo dos o tres diferencias en la reflectancia entre las hojas y la fruta. Utilizando estas diferencias en la reflectancia y comparando la señal de brillo YY la señal roja R en la cámara de televisión, los frutos de tomate podrían distinguirse de las hojas y los tallos. Como los tomates son detectados por la cámara de televisión, un robot no tripulado puede trabajar de noche bajo luz artificial; sin embargo, este robot generalmente se puede usar durante el día bajo las condiciones de luz variable de la luz solar, por lo que la cámara de televisión debería ser capaz de hacer frente a condiciones de luz variables. En esta cámara de televisión, el brillo y las señales rojas

aumentan en proporción a la intensidad de la luz en algunas regiones, por lo que estas dos señales se comparan mediante un comparador analógico para obtener los patrones de las frutas. Hay tomates procesados y tomates frescos. Para los tomates frescos, los tomates semicurados a veces se cosechan para venderlos en el supermercado, etc .; en este experimento, los tomates frescos comparativamente maduros fueron el objeto.

Las señales binarias obtenidas al comparar las señales Y y R se sincronizaron con el pulso que dividía el pulso de reloj de la cámara de televisión y se alimentaron a la memoria de patrones de la computadora por medio del acceso directo a la memoria (DMA). Para hacer el cálculo más rápido, se redujeron los números de memoria de patrones, memorizando una vez en cuatro elementos en la dirección horizontal y una vez en seis líneas de exploración horizontales. Por lo tanto, la memoria de patrón se convirtió en aproximadamente 1 kB y el tiempo requerido para un patrón fue de aproximadamente 1/60 s.

La distancia desde la posición de la cámara de televisión a las frutas se midió con la ayuda de una cámara estéreo. En lugar de usar dos cámaras, una cámara se movió a una distancia de 15 cm para obtener dos imágenes en cada posición y la distancia se calculó a partir de estas imágenes de tomates. La posición tridimensional de un tomate se decidió redondeando al 1 cm más cercano.

Utilizando un dispositivo ocular tan simple, los errores de detección fueron inferiores a ± 1 cm frente a los tomates presentados a ± 20 cm del eje central de la lente. Sin embargo, en la práctica, un tomate puede estar encima de otro y algunas veces los tallos y las hojas esconden frutos; también, hay casos donde los tomates inmaduros deben ser cosechados. Estos problemas aún deben ser resueltos. Sin embargo, si tomó demasiado tiempo detectar una fruta, este robot se volvería inútil como cosechadora; por lo tanto, se utilizó software con una velocidad de decisión rápida.

Para usar el manipulador para la operación en granjas, es necesario que el dispositivo sea ligero y compacto, a bajo costo, y trabaje con un bajo consumo de energía, ya que se montará en un pequeño automóvil con batería. Por lo tanto, el manipulador articulado que se muestra en la Fig. 6 se realizó como prueba.

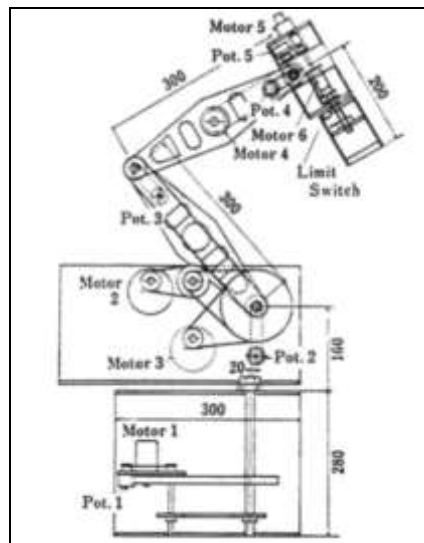


Fig. 6.: Un manipulador robótico para el robot cosechador de tomates (Kawamura and Namikawa 1988).

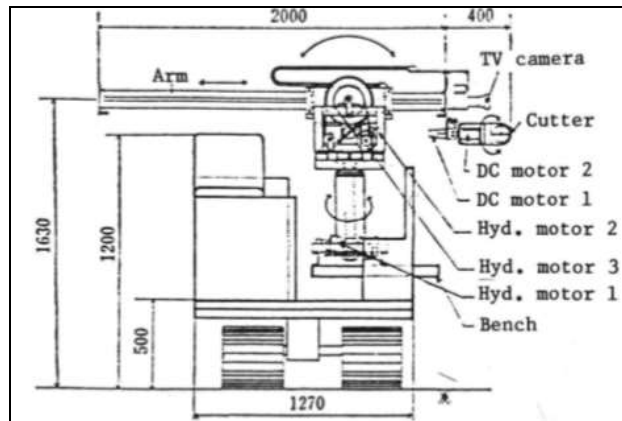


Fig. 7.: Robot cosechador de naranjas (Kawamura and Namikawa 1988).

3. CONCLUSIONES.

Los robots de recolección de fruta se han descrito principalmente. Las naranjas o los tomates serían fáciles de detectar, pero los pimientos o los guisantes, cuyo color es casi el mismo que sus hojas y tallos, serían difíciles de detectar. Para la detección de tales frutas verdes, se requieren accesos y ensayos bastante diferentes. Teniendo en cuenta la maquinaria agrícola, especialmente las máquinas de campo de su estructura, en el campo de arroz se utiliza mucho una máquina de propósito único como una cosechadora de arroz o una cosechadora combinada; sin embargo, en el campo de tierras altas se usa principalmente un tractor y en el tractor se monta un tractor rotativo, pulverizador, empacador, taladro, cultivador, rociador, cosechadora, transportador, etc., para operaciones ocasionales, de modo que el método de montaje y la transmisión de potencia entre el tractor y cada máquina de campo han sido estandarizados. En los robots agrícolas, la misma operación podría hacerse. Al cambiar el software y el dedo del manipulador, otras operaciones, por ejemplo, control de plagas y adelgazamiento para mantener las plántulas jóvenes y buenas, se pueden hacer fácilmente. El costo relativo disminuiría en tal robot multipropósito. Además, al convertir el dispositivo móvil en un solo módulo con un dispositivo motriz, manipulador, dispositivos de detección y computadora y cambiar las combinaciones fácilmente, la robótica sería más económica y la utilización sería más amplia.

4. REFERENCIAS

- Aljanobi, A. A., S. A. Al-hamed, and S. A. Al-Suhaibani. 2010. "A Setup of Mobile Robotic Unit for Fruit Harvesting." In *19th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD 2010)*, IEEE, 105–8. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5524602/> (April 30, 2018).
- Aloisio, Christopher, Ranjan Kumar Mishra, Chu-Yin Chang, and James English. 2012. "Next Generation Image Guided Citrus Fruit Picker." In *2012 IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA)*, IEEE, 37–41. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6215651/> (April 30, 2018).
- Chatzimichali, Anna P., Ioannis P. Georgilas, and Vassilios D. Tourassis. 2009. "Design of an Advanced Prototype Robot for White Asparagus Harvesting." In *2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, IEEE, 887–92. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5229897/> (April 30, 2018).
- Eaton, R., J. Katupitiya, K. W. Siew, and K. S. Dang. 2008. "Precision Guidance of Agricultural Tractors for Autonomous Farming." In *2008 2nd Annual IEEE Systems Conference*, IEEE, 1–8. <http://ieeexplore.ieee.org/document/4519026/> (April 30, 2018).
- Gollakota, Akhila, and M. B. Srinivas. 2011. "Agribot — A Multipurpose Agricultural Robot." In *2011 Annual IEEE India Conference*, IEEE, 1–4. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6139624/> (April 30, 2018).
- Hajjaj, Sami Salama Hussen, and Khairul Salleh Mohamed Sahari. 2014. "Review of Research in the Area of Agriculture Mobile Robots." In Springer, Singapore, 107–17. http://link.springer.com/10.1007/978-981-4585-42-2_13 (April 30, 2018).
- Hashimoto, Y., H. Murase, T. Morimoto, and T. Torii. 2001. "Intelligent Systems for Agriculture in Japan." *IEEE Control Systems Magazine* 21(5): 71–85.

- <http://ieeexplore.ieee.org/document/954520/> (April 30, 2018).
- Jun, Wang, Zhou Zhou, and D U Xiaodong. 2012. "Design and Co-Simulation for Tomato Harvesting Robots." *Proceedings of the 31st Chinese Control Conference*: 5105–8.
- Kawamura, Noboru, and Kiyoshi Namikawa. 1988. "Robots in Agriculture." *Advanced Robotics* 3(4): 311–20. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1163/156855389X00253> (April 30, 2018).
- KAWAMURA, Noboru, Kiyoshi NAMIKAWA, Tateshi FUJIURA, and Motonobu URA. 1984. "Study on Agricultural Robot (Part 1)." *JOURNAL of the JAPANESE SOCIETY of AGRICULTURAL MACHINERY* 46(3): 353–58. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsam1937/46/3/46_3_353/_article/-char/ja/ (April 30, 2018).
- Qingchun, Feng et al. 2012. "Study on Strawberry Robotic Harvesting System." In *2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering (CSAE)*, IEEE, 320–24. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6272606/> (April 30, 2018).
- Ruangwiset, Annop, and Shin-Ichiro Higashino. 2012. "Development of an UAV for Water Surface Survey Using Video Images." In *2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, IEEE, 144–47. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6427349/> (April 30, 2018).
- Sakai, Satoru, Koichi Osuka, Takahiro Maekawa, and Mikio Umeda. 2007. "Robust Control Systems of a Heavy Material Handling Agricultural Robot: A Case Study for Initial Cost Problem." *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 15(6): 1038–48. <http://ieeexplore.ieee.org/document/4343976/> (April 30, 2018).
- Shukla, Abhishek, and Suraj S. Jibhakate. 2011. "Design and Implementation of Real Time Pollution Free Autonomous Vehicle for Harvesting on VI Platform." In *2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology*, IEEE, 335–39. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5941618/> (April 30, 2018).
- Simon, Santhosh. 2010. "Autonomous Navigation in Rubber Plantations." In *2010 Second International Conference on Machine Learning and Computing*, IEEE, 309–12. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5460720/> (April 30, 2018).
- Tamaki, Katsuhiko, Yoshisada Nagasaka, and Kyo Kobayashi. 2009. "A Rice Transplanting Robot Contributing to Credible Food Safety System." In *2009 IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts*, IEEE, 78–79. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5587071/> (April 30, 2018).
- "USDA Agricultural Projections to 2026 Interagency Agricultural Projections Committee USDA Long-Term Projections." 2017. https://www.usda.gov/oce/commodity/projections/USDA_Agricultural_Projections_to_2026.pdf (April 30, 2018).