

Métodos de inteligencia artificial (IA) para aplicaciones de teledetección de palma de aceite*

Artificial Intelligence (AI) in Oil Palm Remote Sensing Applications

AUTORES: Helmi Zulhaidi Mohd Shafri, Muhammad Mustafa Al-Habshi, Nur Shafira Nisa Shaharum, Departamento de Ingeniería Civil y Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (GISRC), Facultad de Ingeniería, Universiti Putra Malaysia; Nasrul Ikhwan Naba, Digdat Sdn Bhd, B7-M Dataran Palma.

CITACIÓN: Mohd-Shafri, H. Z., Al-Habshi, M. M., Shaharum, N. S. N., & Naba, N. I. (2019). Métodos de inteligencia artificial (IA) para aplicaciones de teledetección de palma de aceite. *Palmas*, 40 (Especial Tomo I), 185-193.

PALABRAS CLAVE: inteligencia artificial, aprendizaje automático, big data, computación en la nube, agricultura de precisión, internet de las cosas (IoT), sostenibilidad.

KEYWORDS: Artificial intelligence, machine learning, big data, cloud computing, precision agriculture, internet of things (IoT), sustainability.

*Artículo original recibido en inglés y traducido por Carlos Arenas París.



HELMI ZULHAIDI MOHD SHAFRI
Facultad de Ingeniería, Universiti Putra
Malaysia
Faculty of Engineering, Universiti Putra
Malaysia

Resumen

Nos encontramos en la era de la Cuarta Revolución Industrial o la Industria 4.0 (RI 4.0). Las tecnologías emergentes bajo esta incluyen la inteligencia artificial (IA), la robótica, la nanotecnología, la biotecnología y el internet de las cosas (IoT), solo por nombrar algunas. Es necesario encontrar maneras de incorporar los elementos de la RI 4.0 a nuestro enfoque para enfrentar los desafíos del sector agrícola, creando el término agricultura 4.0. Para la agroindustria de la palma de aceite, la adopción de tecnologías avanzadas es el camino a seguir para garantizar su sostenibilidad y viabilidad. Una acción importante que debe tomarse es la captura de la información de las plantaciones mediante la tecnología geoespacial. La teledetección es un componente crucial ya que contribuye a la plantación digital (no es claro “plantación digital”). Se pueden generar mapas y bases de datos de las plantaciones de palma de aceite a partir de

varios sensores y plataformas. También, se pueden realizar mediciones espectrales en terreno, utilizando espectrorradiómetros de campo e imagen para desarrollar bibliotecas espectrales de la palma de aceite como referencia, así como para determinar las características espectrales importantes para determinar la condición de las mismas. Los sistemas aéreos pueden ser dirigidos y equipados con sensores de alta resolución para mapear las plantaciones en detalle, lo mismo que aquellos equipados en satélites que lo harían a escalas nacionales y regionales con fines de monitoreo. Ciertas técnicas que igual incluyen métodos de IA son fundamentales para entender las señales e imágenes capturadas por estos sensores. Bajo el dominio de la IA, las técnicas de aprendizaje automático (AA) son esenciales para todos los tipos de información de teledetección. Los datos de espectroscopia de campo y el AA ayudan a identificar bandas significativas y crear índices especiales para condiciones específicas. Para los datos obtenidos de aeronaves o vehículos aéreos no tripulados (VANT), el AA permite realizar el conteo y la clasificación de las palmas. En términos del uso de satélite para el mapeo de distribución y cambios de palma de aceite a gran escala, las técnicas combinadas de computación en la nube y AA están abriendo el camino para un cambio de paradigma en el mapeo a gran escala. Los datos geoespaciales recolectados serán parte de la información necesaria para la administración de las plantaciones modernas de palma de aceite dentro del contexto de la agricultura 4.0. Esta sesión de apertura revisa cuestiones relacionadas con el tema.

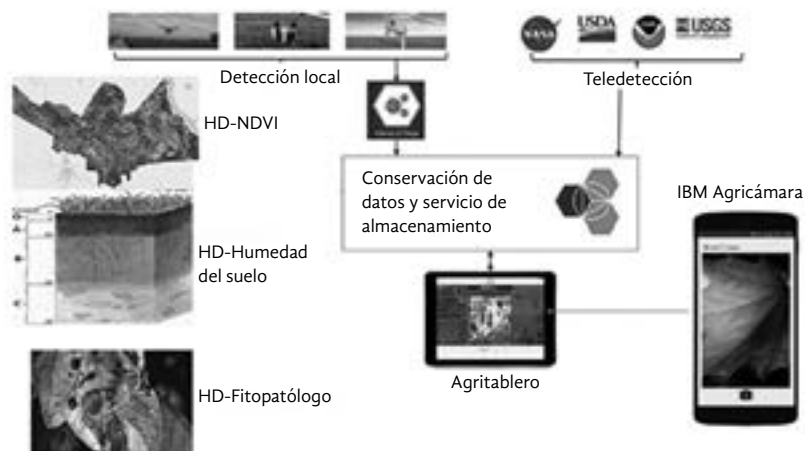
Introducción

En la era de la revolución industrial 4.0 (RI 4.0), el sector agrícola también está adoptando tener su propia agricultura 4.0. Bajo este avance tecnológico, varias secciones de la agroindustria de la palma de aceite están experimentando innovaciones significativas. Entre otras, el manejo modernizado de la plantación en diferentes escalas espaciales.

El progreso en la tecnología geoespacial y de la información (TI) permite el desarrollo de infraestructuras y proveedores de datos, con el fin de apo-

yar ciertos componentes importantes de la modernización de las plantaciones de palma de aceite, tales como la agricultura de precisión, el internet de las cosas (IoT) y programas para el monitoreo de la sostenibilidad. La teledetección es una de las tecnologías que suministra datos críticos para permitir la implementación de la agricultura 4.0. En segundo lugar, el análisis de datos es esencial porque contiene información relevante para los agricultores y gerentes de plantaciones. La Figura 1 muestra un concepto de cómo se puede utilizar la teledetección de datos en un entorno agrícola moderno.

Figura 1. Integración de teledetección utilizando el IoT y servicios de computación en la nube en la agricultura de precisión (adaptado de IBM, 2018).



La teledetección puede definirse como una técnica para la adquisición de información geoespacial, utilizando sensores y dispositivos que no están en contacto directo con los objetivos. Por lo general, se puede dividir en sistemas de teledetección activos y pasivos. Los pasivos involucran los que dependen de la luz solar para generar señales reflejadas, que son capturadas por los sensores. Algunos ejemplos de estos incluyen los sistemas multispectrales e hiperspectrales. Por otra parte, los activos comprenden sensores que emiten su propia energía y luego capturan las señales reflejadas, como ejemplos están los sistemas de radar y lidar.

A continuación, nos centraremos en los sistemas pasivos y discutiremos los métodos de análisis de datos relacionados, basados en inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (AA) en el contexto del manejo y monitoreo de los cultivos de palma de aceite, para apoyar la implementación de la agricultura 4.0. Dado que se pueden adquirir datos de teledetección utilizando tres plataformas diferentes (de campo, aérea y espacial), la primera sección abordará los sensores y plataformas de datos de campo, incluyendo ejemplos de implementaciones de AA. La segunda, los sistemas aéreos, que incluyen plataformas con piloto y VANT, y cómo los algoritmos de AA procesan estos datos. La tercera, incluye las aplicaciones de algoritmos de AA para el procesamiento de imágenes de teledetección de palma de aceite adquiridas por satélites. Posteriormente, se discutirá el marco que combina todos estos datos y plataformas para la agricultura de precisión, y se concluirá con los desafíos y oportunidades a futuro.

Sistemas basados en campo

Los datos de teledetección de campo pueden ser recolectados por varios sensores, tales como una sencilla cámara de rojo, verde, azul (RGB) o los multispectrales e hiperspectrales más avanzados. En términos del estudio de la palma de aceite, los espectrorradiómetros de campo son los más utilizados por los investigadores para la recolección de datos espectrales terrestres, ya que se pueden usar para establecer una base de datos de referencia y determinar evaluaciones fundamentales. La mayoría de estudios emplearon espectrómetros de campo para determinar la viabilidad de los sistemas ópticos de teledetección, y detectar cambios sutiles en las propiedades espectrales debido a la presencia de enfermedades o a la falta de nutrientes. En la literatura se ha reportado cierto nivel de éxito. Estudios más recientes han adoptado métodos de IA, tales como la red neuronal artificial (RNA) para identificar las bandas y características importantes (Golhani *et al.*, 2018; Liaghat *et al.*, 2014).

A pesar del éxito, continúan los desafíos para encontrar una técnica que sea más práctica y económica para ser implementada en el campo. Es necesario desarrollar dispositivos más baratos y simples para suministrar un uso más robusto y amigable con el usuario. El camino a seguir será el empleo de espectrorradiómetros de campo avanzados basados en imágenes, como los sistemas Cubert o el móvil Specim IQ. Estos, como los mostrados en la Figura 2, permitirán una mayor practicidad para adquirir datos de campo, tales como espectros e imágenes de referencia de la condición de las palmas de aceite o aplicaciones para la madurez del fruto.



Figura 2. Sistemas de recolección de datos que utilizan avanzadas cámaras de imagen Specim IQ y Cubert.

Sistemas aéreos

Antes del uso común de los vehículos aéreos no tripulados (VANT), se solían utilizar aeronaves y helicópteros para la adquisición de datos hiperespectrales aéreos (Shafri *et al.*, 2012; Izzuddin *et al.*, 2015), que han demostrado ser efectivos para mapear los cultivos de palma de aceite en grandes áreas. Sin embargo, su principal problema es el costo que implica volar la aeronave y la iluminación variable debido a las nubes y sombras en un entorno tropical malayo.

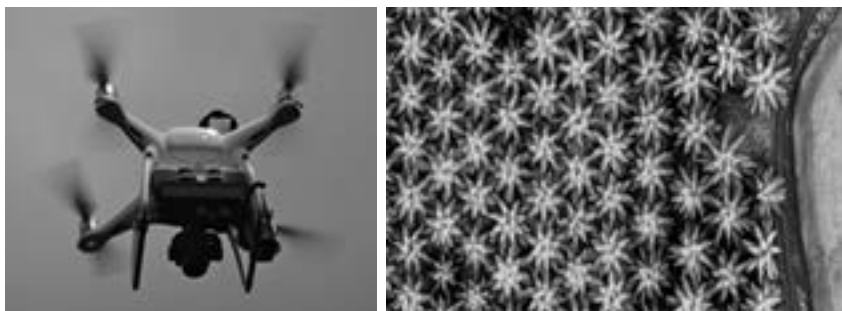
Los VANT se están convirtiendo en la plataforma más versátil y popular para adquirir datos de teledetección debido a sus bajos costos, facilidad de operación y flexibilidad. Hoy en día, el uso de VANT o drones es una manera rentable y eficaz de realizar una variedad de trabajos, incluyendo levantamientos topográficos, mapeo y adquisición de datos de alta resolución temporal y espacial con datos de teledetección. En la implementación de la agricultura de precisión, es común el uso de varias aplicaciones agrícolas en el campo para mapear, monitorear, rociar pesticidas, entre otros. El uso de cámaras RGB estándar es el más común, pero podría tener limitaciones en términos del análisis del contenido de la información (Kalan-tar, 2017; Sastrohartono *et al.*, 2016). Las cámaras multiespectrales con cuatro o cinco bandas permiten realizar un mapeo más preciso de las condiciones y salud de los cultivos. Un ejemplo es el MicaSense Red Edge o Sequoia.

En términos de análisis de datos con IA, un número limitado de bandas también restringe el estudio avanzado de la condición del cultivo, pero el uso de métodos como el aprendizaje profundo podría ser útil para aplicaciones como la detección y conteo de palmas. Recientemente una compañía privada en

Malasia, BigDat Sdn Bhd, obtuvo los derechos como único distribuidor y proveedor de servicios de un avanzado sensor multiespectral a bordo de VANT. El sensor, conocido como MicaSense Red Edge, puede ser utilizado para adquirir cinco bandas, abarcando el espectro visible y del infrarrojo cercano. La versatilidad y calidad de los datos permiten una rápida adquisición y análisis de datos, casi que en tiempo real, antes de que los agricultores o administradores de plantaciones puedan tomar cualquier decisión. La Figura 3 muestra un sistema multiespectral basado en VANT, utilizado para adquirir datos multiespectrales de cinco bandas con resolución muy alta y que emplea el sensor MicaSense Red Edge sobre una plantación de palma de aceite. Este permite recolectar datos de gran calidad, que pueden explorarse con fines de mapeo y monitoreo usando IA. La mayoría de las técnicas actuales, basadas en los índices espectrales y la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático para el mapeo de palma de aceite desde VANT, aún son limitadas. Bahrom (2018) investigó el uso de redes neuronales artificiales (RNA) en la detección de palmas de aceite infectadas con *Ganoderma* utilizando los datos de una cámara RGBNIR en un VANT, e identificó el potencial para mejorar este método aún más con base en la optimización de parámetros.

El uso de datos hiperespectrales basados en VANT para el monitoreo de la palma de aceite aún es restringido debido al costo del sensor y al riesgo asociado con el manejo de la plataforma. Por lo tanto, esta área es una brecha de investigación obvia y en este momento continúa siendo estudiada, con una implementación práctica limitada. UPM ha adquirido un sensor hiperespectral de OCI-BaySpec. En el momento, el proceso de integración y configuración del sistema para el mapeo de palma de aceite está en curso.

Figura 3. El sensor MicaSense a bordo de un VANT sobre una plantación en Malasia.



Sistemas espaciales

Los problemas de sostenibilidad de la palma de aceite están a la vanguardia. La expansión del área cultivada requiere un control estricto para evitar la pérdida adicional de bosque y biodiversidad (Fitzherbert *et al.*, 2008), especialmente en las tierras con un alto valor de conservación. La teledetección por satélite ha sido reconocida como la tecnología que puede ser utilizada para monitorear el estado y los cambios del suelo en una gran área y en periodos diferentes. Como la palma de aceite se siembra en vastas zonas del este y en Malasia peninsular, esta especie requiere una gran cantidad de datos, instalaciones informáticas y experiencia en el estudio de imágenes de teledetección (Lee *et al.*, 2016). Estos son los obstáculos que limitan la realización de análisis a gran escala en el país. Hasta el momento no existen estudios, por ejemplo, en Malasia peninsular, que puedan verificar el estado del cambio de la cobertura terrestre de la palma de aceite durante un periodo que cubra aproximadamente las últimas dos décadas, ya que los datos son insuficientes y existen grandes diferencias en su calidad.

En la actualidad, el progreso en computación en la nube y los algoritmos de aprendizaje automático han mejorado tremendamente la capacidad de monitoreo ambiental de forma rápida, precisa y económica, manejando grandes escalas espaciales y temporales, utilizando la teledetección con big data. Las nuevas plataformas de computación basada en la nube y los sensores de satélite ofrecen oportuni-

dades para generar mapas de la cobertura del suelo diseñados para cumplir con los requisitos de aplicaciones específicas (Azzari & Lobell, 2017). Pero se reconoce que un manejo más efectivo de los problemas relacionados con la expansión y el monitoreo de la palma de aceite es una importante brecha de la investigación en curso para lograr los objetivos de sostenibilidad (Chong *et al.*, 2017). Parte de la iniciativa big data en teledetección es la disponibilidad de datos de acceso abierto de las misiones Landsat y Sentinel que brindan una cantidad importante de datos a escala temporal y espacial.

Convencionalmente, cubrir el área de Malasia peninsular requeriría un enorme número de imágenes Landsat que cubran varios años y adicional a ello se necesitaría el desarrollo de algoritmos para mitigar los problemas de la cobertura por nubes. Otros desafíos incluyen los requisitos de almacenamiento, la selección de clasificadores adecuados, el análisis de expertos y las potentes capacidades del *hardware*. Sin embargo, se pueden mitigar con las plataformas de mapeo basado en la nube que están disponibles actualmente, como las suministradas por Google Earth Engine (GEE) y el Remote Sensing Monitoring and Assessment Pipeline (REMAP). La computación en la nube puede proporcionar información a un amplio grupo de usuarios, en lugar de datos sin procesar para profesionales geoespaciales y en teledetección (Navulur, 2013). La Figura 4 muestra la infraestructura básica que integra la computación en la nube, *big data* y el aprendizaje automático.

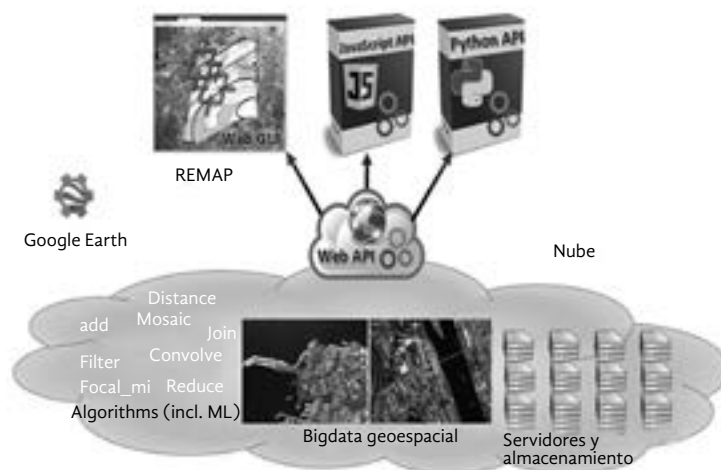


Figura 4. Ejemplo de integración de computación en la nube, *big data* y aprendizaje automático para la implementación de REMAP con tecnología de GEE.

Los avances de la computación en la nube y en los algoritmos de aprendizaje automático, están cambiando los métodos con los que se utilizan los datos de observación terrestre (OT) para el monitoreo ambiental, particularmente a medida que entramos en la era de los flujos de datos satelitales gratuitos y de acceso abierto (Hird *et al.*, 2017). Por ejemplo, el GEE puede ser empleado en línea y permite a los usuarios acceder a petabytes de conjuntos de datos de teledetección. Sin embargo, para hacer un uso efectivo, este debe ser operado a través del API, lo que requiere que el usuario sea capaz de programar utilizando JavaScript y de realizar un tratamiento en la nube. REMAP fue creado por científicos de la Universidad de Nueva Gales del Sur (UNSW, por su sigla en inglés) con tecnología de GEE. Permite hacer un análisis más rápido utilizando imágenes más 'limpias' y con menos contenido de nubes. Usa el almacenamiento de datos geoespaciales y la capacidad de análisis de datos de la plataforma de análisis basada en la nube de GEE, para permitir a los usuarios desarrollar, interactivamente, clasificaciones de aprendizaje automático de cobertura terrestre, dentro de un área de interés en cualquier parte del mundo de la que existan suficientes datos Landsat de archivo. Adicionalmente, la aplicación REMAP sirve para el monitoreo y el análisis de cambios en la cobertura terrestre, dejando a los usuarios mapear las distribuciones de ecosistemas en dos puntos en el tiempo (por ejemplo, en 2003 y en 2017), cuantificar el área de cambio en cada clase de mapa e informar la distribución estándar.

Uno de los algoritmos más utilizados para los servicios de mapeo basado en la nube es el de Bosques Aleatorios (RF, por su sigla en inglés), que ha demostrado tener un desempeño efectivo en aplicaciones de teledetección. El RF es un clasificador conjunto que produce múltiples árboles de decisión usando un conjunto aleatorio de muestras y variables de entrenamiento (Belgiu & Dragut, 2016). Lo adoptamos para realizar una evaluación rápida sobre la cobertura terrestre de Malasia peninsular. La Figura 5 muestra un ejemplo de los resultados producidos por REMAP. Su principal ventaja es la cantidad significativa de tiempo que se ahorra y la menor complejidad para producir el resultado en comparación con los métodos tradicionales.

El uso de REMAP permite la producción de un mapeo y evaluar los cambios de forma rápida. Sin embargo, se reconocen varias limitaciones, tales como la capacidad para elegir otros algoritmos de aprendizaje automático que podrían producir resultados diferentes. Adicionalmente, en la actualidad los datos están limitados solo a Landsat y a los años definidos por los desarrolladores, quienes han realizado procedimientos de preprocesamiento, tales como tratamiento de nubes, sin mucho control por parte de los usuarios. Según fue diseñada, es una herramienta fácil para que los usuarios con menos conocimiento técnico en teledetección puedan obtener resultados precisos y rápidos. Para un mapeo más detallado de las plantaciones de palma de aceite se puede utilizar un satélite de resolución muy alta, como WorldView-3 o Quickbird, para contar palmas de aceite y estimar su edad (Rizeei *et al.*, 2018), así como para evaluar las condiciones de salud (Santoso *et al.*, 2017) empleando técnicas de aprendizaje automático. Sin embargo, las condiciones nubosas de las zonas tropicales en las que se sembraron palmas de aceite, limitan la utilidad de los datos ópticos basados en satélite. Por lo tanto, es necesario realizar más trabajos de investigación sobre el uso de imágenes de radar para el mapeo de palma de aceite, debido a su capacidad para penetrar la neblina y las nubes.

Conclusiones

El AA es una parte de la IA y presentamos algunos ejemplos de aplicaciones para la teledetección de palma de aceite. En cierta medida estudios relacionados con la palma de aceite han aplicado métodos de IA usando datos de espectroscopias de campo o laboratorio, aeronaves piloteadas, VANT y satélites. Por ejemplo, los datos de espectroscopia de campo de las palmas de aceite objetivo han sido evaluados con RNA para determinar el nivel de gravedad de enfermedades. También se han utilizado datos multiespectrales e hiperespectrales aéreos, pero solo se emplearon métodos estándar de análisis espectral. El uso de datos de VANT para los estudios de la palma de aceite continúa en una etapa joven, en la que, por el momento, sirven para el conteo de palmas y para una evaluación general de la salud con métodos estándar de una imagen RGB. Se están desarrollando sistemas VANT más avanzados, basados en detección

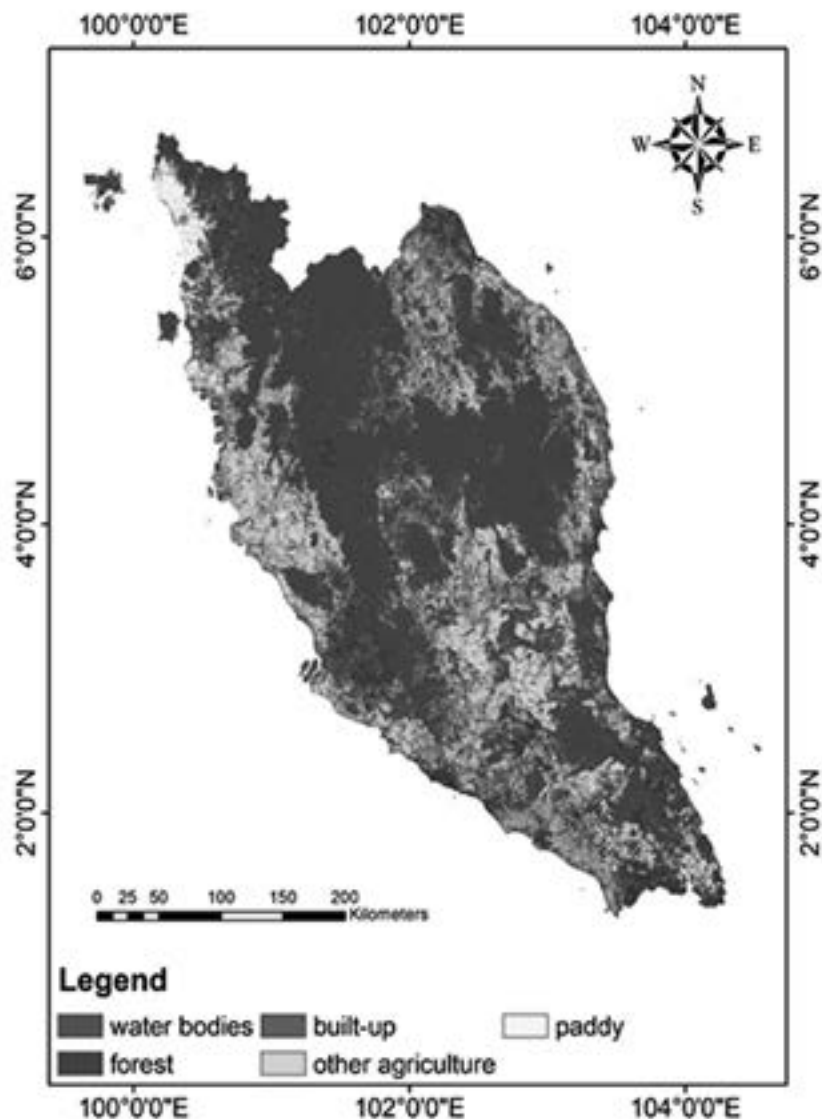


Figura 5. Cobertura terrestre de Malasia peninsular en 2017 representada mediante servicios de computación en la nube como REMAP.

multiespectral e hiperespectral, pero todavía se encuentran en una etapa temprana. Con datos hiperespectrales, se puede investigar aún más su potencial de uso para la detección de enfermedades y de salud, ya que los investigadores tendrán a su disposición datos con mayores resoluciones y dimensiones espectrales. Aunque han utilizado datos de satélite para el estudio de la palma de aceite, los que usan métodos de IA/AA son limitados. Con la disponibilidad de plataformas de mapeo basadas en la nube, como Google Earth Engine y REMAP, ahora se pueden aplicar las técnicas de AA con mayor facilidad para el mapeo a gran escala de las plantaciones con fines de monitoreo y manejo de la sostenibilidad. Para un mapeo más detallado se emplean datos ópticos con resolución muy alta.

Con la creciente disponibilidad de datos satelitales gratuitos y la variedad de sistemas activos y pasivos de teledetección, que están creando un gran fenómeno de datos geoespaciales, el uso de IA/AA, así como de la computación en la nube, es el camino a seguir para extraer más información de los datos de teledetección para su aplicación en la palma de aceite. Estos son cruciales para llevar el cultivo hacia el cumplimiento de los objetivos de la agricultura 4.0, a pesar del hecho de que su uso aún es limitado y que, por lo tanto, requiere mayor investigación. Todavía hay brechas evidentes en IA para el análisis de datos de teledetección relacionados con la palma de aceite, principalmente debido a la falta de experiencia y entendimiento de los métodos y plataformas de aprendizaje

automático. Otro obstáculo que debe superarse es la necesidad de mayores habilidades de programación, importantes para las generaciones actuales y futuras de científicos, con el fin de dominar la IA y todos los otros dominios tecnológicos avanzados relacionados (Ayer *et al.*, 2014). Además de los sistemas ópticos pasivos, también se requerirá investigación intensiva para probar la capacidad de los sistemas activos que sean capaces de operar más eficientemente en condiciones tropicales nubosas, tales como el radar y el lidar, para evaluar las condiciones de las palmas de aceite.

Para trabajos futuros, es necesario explorar los métodos de IA y AA con mayor profundidad, ya que estos aún deben aplicarse intensivamente a las aplicaciones de palma de aceite que utilizan datos de teledetección para traducirlos en mejores decisiones y acciones en campo. Por ejemplo, se pueden desarrollar algoritmos de aprendizaje profundo para una detección y clasificación más precisa y automatizada de la palma de aceite. En la actualidad, el uso de nuevos datos de sensores multispectrales e hiperspectrales con integración de AA en aplicaciones sigue siendo

investigado intensivamente y se espera que pronto se obtengan resultados más sólidos. Es preciso acelerar el desarrollo de infraestructuras más efectivas para el manejo de plantaciones de palma de aceite que utilicen la integración de los principios del IoT, computación en la nube, agricultura de precisión, sostenibilidad y sistemas de teledetección más avanzados, para garantizar que la agroindustria pueda seguir progresando en la era de la RI 4.0. No obstante, a pesar de la emoción del marco conceptual, las intenciones y el alcance alrededor de la agricultura 4.0, su implementación exitosa es el principal desafío en muchos países del mundo (Yahya, 2018).

Agradecimientos

A la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma, por la financiación de nuestra asistencia a la conferencia y por los comentarios de los revisores para mejorar el manuscrito. Se agradece a Digdat Sdn Bhd por la adquisición y el intercambio de los datos del sensor UAV MicaSense Red Edge.

Referencias

- Ayer, V. M., Miguez, S., & Toby, B. H. (2014). Why scientists should learn to program in Python. *Powder Diffraction*, 29(S2), S48-S64.
- Azzari, G., & Lobell, D. B. (2017). Landsat-based classification in the cloud: An opportunity for a paradigm shift in land cover monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 202, 64-74.
- Belgiu, M., & Dragut, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 114: 24-31.
- Chong, K. L., Kanniah, K. D., Pohl, C., & Tan, K. P. (2017). A review of remote sensing applications for oil palm studies. *Geo-spatial Information Science*, 20(2), 184-200.
- Endeavour Management Services. (2018). Smart communities. Accessed:<http://em.com.my/blog/2017/06/22/smart-communities/>
- Bahrom, E. (2018). *UAV Based RGB/NIR aerial imaging for the detection of Ganoderma disease in oil palm plantation*. University of Malaya Master Thesis.
- Fitzherbert, E. B., Struebig, M. J., Morel, A., Danielsen, F., Brühl, C. A., Donald, P. F., & Phalan, B. (2008). How will oil palm expansion affect biodiversity?. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(10), 538-545.
- Golhani, K., Balasundram, S. K., Vadmalai, G., & Pradhan, B. (2018). A review of neural networks in plant disease using hyperspectral data. *Information Processing in Agriculture*, 5(3), 354-371.

- Hird, J. N., DeLancey, E. R., McDermid, G. J., & Kariyeva, J. (2017). Google Earth Engine, open-access satellite data, and machine learning in support of large-area probabilistic wetland mapping. *Remote Sensing*, 9(12), 1315.
- IBM. (2018). IBM Research Precision Agriculture – Overview. Accessed: <https://www.ibm.com/products/my/en/>
- Izzuddin, M. A., Idris, A. S., Nisfariza, N. M., & Ezzati, B. (2015). Spectral based analysis of airborne hyperspectral remote sensing image for detection of *Ganoderma* disease in oil palm. *Proceedings of International Conference on Biological and Environmental Science*, 13-20.
- Kalantar, B., Idrees, M. O., Mansor, S., & Halin, A. A. (2017). Smart counting – oil palm tree inventory with UAV. *Coordinates*, 17-22.
- Liaghat, S., Ehsani, R., Mansor, S., Shafri, H. Z. M., Meon, S., Sankaran, S., & Azam, S. H. M. N. (2014). Early detection of basal stem rot disease (*Ganoderma*) in oil palms based on hyperspectral reflectance data using pattern recognition algorithms. *International Journal of Remote Sensing*, 35(10), 3427-3439.
- Lee, J. S. H., Wich, S., Widayati, A., & Koh, L. P. (2016). Detecting industrial oil palm plantations on Landsat images with Google Earth Engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 4, 219-224.
- Ma, Y., Wu, H., Wang, L., Huang, B., Ranjan, R., Zomaya, A., & Jie, W. (2015). Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems* 51, 47-60.
- Navulur, K., Lester, D., Marchetti, A., & Hammann, G. (2013). *Demystifying Cloud Computing for Remote Sensing Applications*. Accessed: <http://ejournal.com/print/column/industry-insights/demystifying-cloud-computing-for-remote-sensing-applications>
- Rizeei, H. M., Shafri, H. Z. M., Mohamoud, M. A., Pradhan, B., & Kalantar, B. (2018). Oil palm counting and age estimation from WorldView-3 imagery and LiDAR data using an integrated OBIA height model and regression analysis. *Journal of Sensors*, 18, 1-13.
- Santoso, H., Tani, H., & Wang, X. (2017). Random Forest classification model of basal stem rot disease caused by *Ganoderma boninense* in oil palm plantations. *International Journal of Remote Sensing*, 38(16), 4683-4699.
- Sastrohartono, H., Suryotomo, A.P., Uktoro, A.I., & Renjani, R.A. (2016). Unmanned Aerial Vehicle Application for Plantation Mapping and Automatic Oil Palm Trees Counting on Oil Palm Plantation Management. *The 1st International Conference on the Role of Agricultural Engineering for Sustainable Agriculture Production*, 47-50
- Shafri, H. Z. M., Hamdan, N., & Anuar, M. I. (2012). Detection of stressed oil palms from an airborne sensor using optimized spectral indices. *International journal of remote sensing*, 33(14), 4293-4311.
- Yahya, N. (2018). *Agricultural 4.0: Its Implementation Toward Future Sustainability*. Green Urea 125-145. Singapore: Springer.