



Universidad Zaragoza

Clase:

Redes de Sensores Electrónicos

Alumno:

Roberto Morales - 895340

Tema:

Artículo de Investigación

Docente:

Roberto Casas

Sección:

67246

Fecha:

18-04-24

Detección de Enfermedades en Cultivos con Sensores Electro-Ópticos Activos y Pasivos

Roberto Morales
Redes de Sensores Electrónicos
Universidad de Zaragoza, España



Sinopsis:

La detección temprana de estrés o enfermedades en cultivos alimentarios es crucial para prevenir pérdidas de rendimiento. Los sensores remotos electro-ópticos activos y pasivos ofrecen métodos no destructivos para la detección y cuantificación especializada de enfermedades de plantas. Esta revisión examina las características clave, opciones de integración en plataformas e innovadoras técnicas de análisis de datos propuestas recientemente para la agricultura de precisión. Se comparan las capacidades de detección de enfermedades de la espectroscopia de fluorescencia, imágenes multiespectrales e hiperespectrales, termografía y sistemas LiDAR activos. Se resaltan los desafíos y beneficios de cada concepto hacia una investigación futura en este campo en rápido crecimiento. Un enfoque de fusión de datos de múltiples sensores, aprovechando las fortalezas de cada técnica, ofrece un aumento en la precisión para la detección temprana de enfermedades vegetales.



Figura 1. Plantación de Olivos control del marco de la plantación.

Introducción:

La detección temprana de enfermedades en plantas es ventajosa para prevenir pérdidas de rendimiento en los cultivos. Los sensores remotos se utilizan cada vez más para el monitoreo de la salud de los cultivos, ofreciendo detección no destructiva y cuantificación especializada de enfermedades de plantas en varios niveles de medición. Los avances en tecnologías de sensores han promovido el desarrollo de nuevas técnicas para la agricultura de precisión. A medida que las técnicas in situ son superadas por imágenes multiespectrales, el refinamiento de imágenes hiperespectrales y la prometedora aparición del LiDAR, la teledetección definirá el futuro de la detección de estrés vegetal biótico y abiótico, la estimación de rendimiento de cultivos y la calidad del producto.

El valor adicional de los sistemas basados en LiDAR proviene de su mayor flexibilidad para capturar datos, alta tasa de entrega de datos y adecuación para un alto nivel de automatización, mientras que superan las deficiencias de los sistemas pasivos limitados por condiciones atmosféricas, cambios de luz, ángulo de visión y estructura del dosel. En particular, un enfoque de sistemas multisensor y las técnicas asociadas de fusión de datos es decir, combinar LiDAR con sensores electro-ópticos existentes ofrecen mayor

precisión en la detección de enfermedades de plantas al enfocarse en la estimación óptima tradicional y la adopción de técnicas de inteligencia artificial para datos espacial y temporalmente distribuidos.

Cuando se aplican en diferentes plataformas de mano, terrestres, aéreas, vehículos robóticos terrestres/aéreos, estos sensores electro-ópticos ofrecen nuevas vías para predecir y reaccionar al estrés y las enfermedades de las plantas.

Este artículo examina las características clave de los sensores, las opciones de integración en plataformas y las técnicas de análisis de datos propuestas recientemente en el campo de la agricultura de precisión, y destaca los principales desafíos y beneficios de cada concepto para orientar la investigación futura en este campo muy importante y de rápido crecimiento.

Método:

Esta revisión se basa en una búsqueda de literatura sobre sensores electro-ópticos para la detección de enfermedades en plantas y el análisis de calidad de alimentos. Se realizaron búsquedas en bases de datos académicas como Web of Science, Scopus y Google Scholar utilizando términos clave como "detección de enfermedades en plantas", "sensores remotos", "imágenes hiperespectrales", "LiDAR", "agricultura de precisión".

Se incluyeron artículos de revistas revisadas.

Los artículos seleccionados se analizaron en detalle para extraer información sobre los principios de funcionamiento de diferentes sensores, sus aplicaciones, ventajas, limitaciones, técnicas de análisis de datos y plataformas de implementación.

El artículo se estructuró en secciones que cubren sensores proximales, espectroscopia de fluorescencia, sensores remotos, imágenes multiespectrales, hiperespectrales, termografía, LiDAR, plataformas de sensores remotos, análisis de datos y aplicaciones en calidad alimentaria. Se realizaron comparaciones entre diferentes enfoques y se identificaron brechas y oportunidades para futuras investigaciones.

Resultados:

Sensores Proximales: Espectroscopia de Fluorescencia

La espectroscopia de fluorescencia es un método rentable, rápido y sensible para la detección de enfermedades en plantas. Se basa en monitorear los cambios en la reflectancia de la clorofila, que se correlacionan con el estrés de la planta. Las desviaciones en la intensidad de fluorescencia reflejada indican indirectamente la presencia de enfermedades. Sin embargo, la espectroscopia de fluorescencia es ineficiente para detectar hojas asintomáticas y disminuye el control sobre la propagación de una enfermedad.

Sensores Remotos:

Imágenes Multiespectrales (MSI)

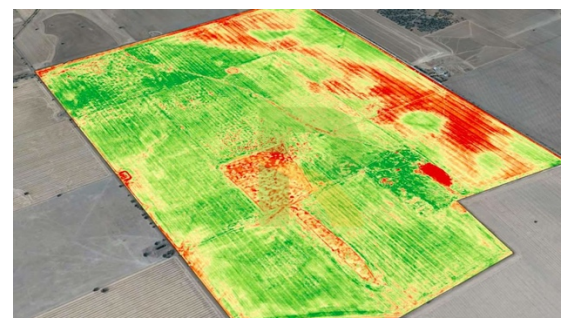


Figura 2 Imagen multiespectrales.

Las imágenes multispectrales utilizan sensores que miden la reflectancia en bandas amplias del espectro electromagnético 3-10 bandas. El MSI es adecuado para proporcionar un patrón espacial de áreas enfermas, mientras que la espectroscopia de imágenes hiperespectrales (HSI) puede realizar un análisis de espectro de línea más detallado. Numerosos estudios han aplicado MSI para detectar enfermedades en diferentes cultivos utilizando técnicas como análisis de componentes principales (PCA), análisis discriminante lineal (LDA) y análisis discriminante cuadrático (QDA).

Imágenes Hiperespectrales (HSI)

Los sensores hiperespectrales miden la reflectancia en múltiples bandas estrechas (típicamente entre 350-2500 nm con resolución <1 nm), lo que permite una cobertura espectral continua.

El HSI puede discernir características más finas que el enfoque de banda ancha de MSI, lo que resulta en una mayor precisión de clasificación. Sin embargo, el HSI es susceptible a la autocorrelación espectral, donde las bandas estrechas adyacentes causan superposición y redundancia de datos. Se utilizan técnicas de minería de datos como PCA, máquinas de vectores de soporte (SVM) y redes neuronales artificiales (ANN) para analizar los datos hiperespectrales de alta dimensión.

Termografía

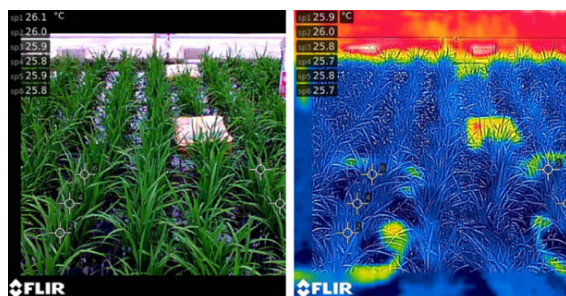


Figura 3 Imagen tomada con cámaras de infrarrojos

La termografía es una técnica pasiva que explota las mediciones de temperatura superficial de hojas o cultivos para identificar desviaciones indicativas de estrés biótico o abiótico. Es adecuada para sensores proximales y remotos, y para el diagnóstico presintomático. Sin embargo, la aplicación de la termografía es vulnerable a las condiciones ambientales y carece de precisión.

LiDAR

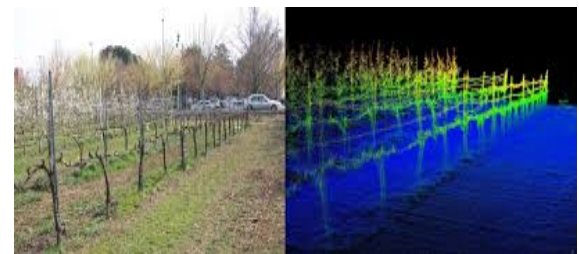


Figura 4. Parcela experimental de la ETSEA escaneada con un escáner terrestre móvil basado en tecnología LiDAR.

Los sistemas LiDAR activos se sugieren como una alternativa a las deficiencias de los sistemas pasivos, ya que no están limitados por la iluminación ambiental, las condiciones atmosféricas, los cambios de iluminación y los ángulos de visión. Una de las principales ventajas del LiDAR es su capacidad para tomar mediciones durante el día y la noche. El LiDAR puede medir la posición relativa de un objeto en cinco dimensiones: x, y (dimensiones terrestres), z altura, tiempo e intensidad de la luz reflejada. Se discuten conceptos como LiDAR de absorción diferencial (DIAL) y LiDAR biestático.

Plataformas de Sensores Remotos:

Se comparan las ventajas y desafíos de diferentes plataformas como sistemas terrestres, aéreos (UAV) o drones para implementar los sensores electro-ópticos

en la agricultura de precisión. Los UAV han demostrado ser competitivos debido a su bajo costo operativo, alta resolución y flexibilidad de misión. Se discute el concepto de enfoques cooperativos UGV (vehículos terrestres no tripulados) y UAV para una mejor cobertura y resolución.

Análisis de Datos:

Se revisan diferentes técnicas de análisis de datos y aprendizaje automático utilizadas para procesar los datos de imágenes y extraer información sobre la salud de los cultivos. Estas incluyen regresión por mínimos cuadrados parciales (PLSR), análisis de componentes principales (PCA), mapas autoorganizados (SOM), redes neuronales artificiales (ANN), máquinas de vectores de soporte (SVM), vecinos más cercanos (KNN) y segmentación de regiones de interés (ROI).

Aplicaciones en Calidad Alimentaria:

Se discuten aplicaciones de los sensores electro-ópticos para evaluar la calidad y madurez de productos alimenticios como frutas y verduras. La espectroscopia de fluorescencia se ha utilizado para estimar la madurez de mandarinas y manzanas. El MSI se ha incorporado con espectrómetros de fluorescencia de mano para evaluar la madurez, acidez y contenido de azúcar de las uvas. El HSI es especialmente útil para identificar longitudes de onda óptimas para correlacionar el cambio de reflectancia con cambios bióticos, como la detección de magulladuras, contaminación fúngica y fecal en manzanas.

Discusión:

La evidencia apunta claramente a un enfoque de fusión de datos que combina múltiples técnicas espectrales para mejorar la precisión de clasificación y

reducir los efectos de factores externos y ambientales que impactan la calidad de los datos recopilados. Si bien el enfoque de banda estrecha del HSI permite una mayor flexibilidad para distinguir áreas espectrales de interés, el sensor HSI es particularmente susceptible a datos erróneos debido a la superposición de datos y es una solución costosa/compleja. En contraste, el sistema MSI requiere una mayor comprensión de las bandas espectrales de interés antes de la implementación.

El valor adicional de los sistemas emergentes basados en LiDAR radica en su mayor flexibilidad para capturar datos, ya que los sistemas LiDAR no están tan limitados por las condiciones atmosféricas, los cambios de luz, el ángulo de visión o la estructura del dosel. La implementación de un sistema LiDAR biestático ligero y de bajo costo en una plataforma de teledetección debe considerarse para futuras investigaciones, especialmente en el contexto de la fusión de datos HSI-LiDAR.

La adopción de técnicas de inteligencia artificial para los datos espacial y temporalmente distribuidos adquiridos por sensores remotos es uno de los factores que más impacta en la precisión del diagnóstico de enfermedades en plantas. Se necesitan estudios comparativos integrales de técnicas de fusión de datos basadas en IA en el contexto de la agricultura de precisión para determinar la mejor combinación de sensores, plataformas y cultivos, especialmente en el enfoque multisensor.

Entre las diversas plataformas de sensores, los UAV claramente llenan un vacío entre las limitaciones de los sensores de mano y los transportados por vehículos en grandes áreas y las resoluciones de sensores de gran altitud o satelitales. La precisión y

resolución general de los sensores basados en UAV en la agricultura de precisión debe investigarse más a fondo, enfatizando las disparidades entre la adquisición de datos a nivel de plantas o árboles.

Conclusión:

Esta revisión examinó las aplicaciones actuales y futuras de la teledetección electro-óptica para la agricultura de precisión, con un enfoque en los nuevos métodos para la detección temprana de enfermedades en plantas y la creciente adopción del análisis espectral en la evaluación de la calidad de los alimentos. La forma en que se propagan las enfermedades de las plantas y causan el deterioro posterior de la planta determina la eficacia de cada una de las técnicas de detección discutidas.

Considerando las técnicas analizadas y sus ventajas y desventajas, la evidencia apunta claramente a un enfoque de fusión de datos que combina múltiples técnicas espectrales para mejorar la precisión de clasificación y reducir los efectos de factores externos que afectan la calidad de los datos recopilados. Si bien el enfoque de banda estrecha del HSI permite una mayor flexibilidad para distinguir áreas espectrales de interés, el sensor HSI es particularmente susceptible a datos erróneos debido a la superposición de datos y es una solución costosa/compleja.

El valor adicional de los sistemas emergentes basados en LIDAR radica en su

mayor flexibilidad para capturar datos, ya que los sistemas LiDAR no están tan limitados por las condiciones atmosféricas, los cambios de luz, el ángulo de visión o la estructura del dosel. La implementación de un sistema LiDAR biestático ligero y de bajo costo en una plataforma de teledetección debería considerarse para futuras investigaciones, especialmente en el contexto de la fusión de datos HSI-LIDAR.

La adopción de técnicas de IA para los datos espacial y temporalmente distribuidos adquiridos por sensores remotos es uno de los factores que más impacta en la precisión del diagnóstico de enfermedades en plantas. Se necesitan estudios comparativos integrales de técnicas de fusión de datos basadas en IA en el contexto de la agricultura de precisión para determinar la mejor combinación de sensores, plataformas y cultivos.

Un enfoque multisensor, aprovechando tanto las técnicas tradicionales como los beneficios emergentes de las mediciones de absorción de CO₂ en campo basadas en LiDAR, es un área que requiere más investigación para mejorar la detección temprana de enfermedades en plantas, el análisis del suelo, la observación y el análisis de calidad de frutas. Estos sistemas multisensor adoptarán algoritmos de fusión de datos basados en IA para procesar de manera eficiente y precisa los datos distribuidos espacial y temporalmente adquiridos en el campo.

para medir distancias y movimientos precisos en un entorno, en tiempo real.

Glosario:

LiDAR: Laser Imaging Detection and Ranging - Es una tecnología de teledetección que utiliza rayos láser

HSI: Sistema que captura datos de imágenes dentro de rangos de longitud

de ondas específicas a través del espectro electromagnético.

UAV: Unmanned Aerial Vehicle - vehículo aéreo no tripulado que es controlado por un piloto o mediante un programa informático.

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/150740/Garc%C3%ADa%20-%20Sensores%20ópticos%20proximales:%20aplicación%20al%20estado%20nutricional%20de%20la%20viña..pdf?isAllowed=y&sequence=1>

Bibliografía:

http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S230115482018000100013&script=sci_arttext

<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/115416>

https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_percepcion_remota/principios-y-aplicaciones_percepcion-remota.pdf

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5590941.pdf>

<https://www.apsnet.org/edcenter/diagnosticmngmnt/casestudies/Pages/DiagnosticEnfermedadesPlantas.aspx>

<https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/14870/2017000001620.pdf?isAllowed=y&sequence=3>

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/150740/Garc%C3%ADa%20-%20Sensores%20ópticos%20proximales:%20aplicación%20al%20estado%20nutricional%20de%20la%20viña..pdf?isAllowed=y&sequence=1>

<https://eos.com/es/blog/enfermedades-de-las-plantas>