

APLICACIÓN DE LA ELECTRÓNICA AVANZADA EN TRACTORES Y MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Parte 4.- Los componentes tecnológicos básicos



PROF. FABRIZIO MAZZETTO
 Instituto de Ingeniería Agraria
 Universidad de Milán

■ Introducción

Los componentes de un sistema de Agricultura de Precisión pueden incluir tecnologías mecánicas, electrónicas e informáticas, hardware y software, de diversa complejidad. Las modalidades con que se completan dentro del sistema dependen:

- Del conjunto de los objetivos que el sistema se propone satisfacer.
- De las soluciones de intercambio entre ellos y los componentes de los sistemas operativos y de manejo de la información.

Contrariamente a los sistemas de manejo de la información, en los que predominan las tecnologías informáticas (GIS, base de datos, paquetes de estadística y geo-estadística, etc.), los sistemas operativos incluyen

tecnologías de diferente naturaleza, que se instalan en las proximidades del centro direccional, o bien a bordo de máquinas e instalaciones. Prevén varias formas de organización e integración según que sus funciones estén limitadas a la monitorización, o se extiendan al control operativo de los procesos de campo.

Un cuadro sinóptico de todas estas tecnologías utilizadas en los sistemas de Agricultura de Precisión se presenta en la Tabla 1. En ella se distingue entre:

TABLA 1.- COMPONENTES TECNOLÓGICOS DE BASE EN UN SISTEMA DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN
 LAS ACTIVIDADES DE MONITORIZACIÓN SE DIFERENCIAN EN AMBIENTALES (AMBI), PRODUCTIVAS (PROD)
 Y OPERATIVAS (OPER). SE INCLUYEN LAS FUNCIONES DE CONTROL OPERATIVO (CTR).

Tipo de componente		Sistema operacional				Sistema manejo información
		Monitorización			CTR	
		AMBI	PROD	OPER		
A	1	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	●
	2	●	■ ■	■ ■ ■	■	●
	3	■	■ ■ ■	●	■	●
	4	●	●	●	■ ■ ■	●
B	5	●	●(c) ■ ■(g)	■ ■	●	●
	6	■	■	■ ■ ■		●
	7		■ ■		■ ■ ■	●
C	8	■ ■	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	●
	9	■ ■	■ ■	■ ■	●	■ ■
	10	■	■	■	●	■ ■
	11	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■ ■	■
D	12	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■	■ ■ ■
	13	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■	■ ■ ■
	14	■ ■	■ ■	■ ■	●	■ ■ ■

●) no previsto
 ■) no indispensable, aunque potencialmente útil
 ■ ■) aconsejado, seguramente útil
 ■ ■ ■) necesario, extremadamente útil

c) cultivos
 g) ganadería

- Tecnologías electrónicas de base, que realizan tanto la adquisición de datos (monitorización), como la información en el contexto productivo (control operativo); son tecnologías que generan y utilizan la información, administrando los datos en las fases iniciales y finales de su ciclo de vida.

- Tecnologías de posicionamiento, indispensables cuando el contenido de la información debe de ir asociado dentro de un sistema espacial de referencia.
- Tecnologías informáticas (hardware), para la gestión física de las informaciones, o bien para el tratamiento de los datos en formado digital mediante soportes físicos, que permite las

funciones de grabación, visualización, modificación y transmisión de los datos; incluyen todas las tecnologías necesarias para el cálculo, así como los sistemas de conexión entre ordenadoras mediante redes y sistemas de comunicación.

- Tecnologías informáticas (software), para la gestión semántica de las informaciones, o bien

para la catalogación y la elaboración de los datos por instrumentos (programas) que permiten de interconectar las funciones digitales del hardware con las formas de comunicación de los usuarios finales que son las personas.

Tecnologías electrónicas

Se consideran tecnologías electrónicas todos los dispositivos para la adquisición de los datos dentro del sistema productivo sometido a monitorización, y las eventualmente necesarias en actividades de control operativo. Para su clasificación es útil esquematizar la actividad productiva como una secuencia más o menos articulada de acontecimientos, cada uno caracterizado por:

- El conjunto de las entidades que resultan implicadas durante la ejecución del acontecimiento (ejemplos: el tractor utilizado durante la arada; el tractorista que la ejecuta; los animales que se encuentran en sala de ordeño; las hileras de una viña atacadas por un patógeno; el tipo de fertilizante distribuido; la parcela a la que hay que dar prioridad en la recolección, etc.); la atribución de valor a una entidad requiere una operación de identificación.
- Una serie de parámetros físicos o químicos relativos a aspectos específicos del comportamiento de dichas entidades, o de la manifestación de los fenómenos en su conjunto (ejemplos: el consumo de

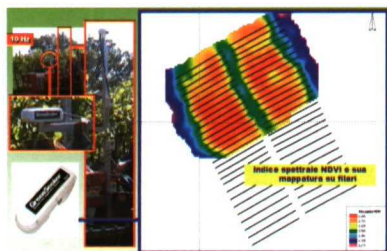
combustible durante la arada; la producción diaria de leche de una vaca; la intensidad de una manifestación patológica en una viña; la cantidad de fertilizante distribuido; los tiempos de trabajo y las producciones durante la recolección etc.); la atribución de valor a un parámetro requiere a una operación de medida cuantificable de manera físicos o química.

- El conjunto de las acciones elementales que constituyen la realización efectiva del acontecimiento (ejemplos: la apertura o el cierre de un acceso, la liberación de un elemento físico mediante una máquina accionada, etc.).

Según este esquema, se pueden establecer:

- Sistemas de identificación, adecuados para el reconocimiento de una entidad implicada en un dato acontecido.
- Sensores para los sistemas de medida, necesarios para cuantificar fenómenos físicos o químicos que caracterizan los acontecimientos.
- Actuadores para la automatización de sistemas de control operativo y, como tales, antepuestos a la ejecución automatizada de acciones individuales elementales dentro de un proceso.

Las aplicaciones de monitorización de los sistemas de adquisición de datos necesitan un ordenador con función de *data-logger* (recogida de datos). Sólo se van a producir 'entradas' procedentes de sensores o de sistemas de identificación. En las aplicaciones de control operativo, en cambio, se tienen sistemas de automatización, por lo que se necesita un dispositivo 'revisor', ECU (*Electronic Control Unit* - microprocesador con memorias), o un ordenador real, que reciben entradas de los sensores y envían información a los actuadores, que actúan como periféricos.



Mapa del vigor de una viña, obtenido a partir de sensores ópticos montados sobre tractor.

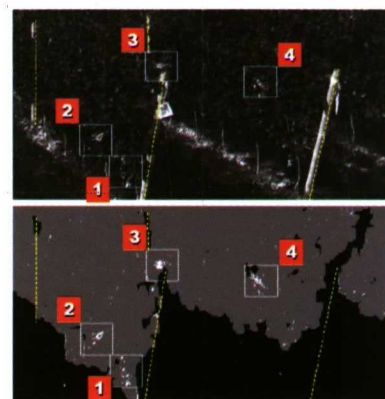
Sistemas de identificación

Para ello se necesita que cada unidad reconocible tenga asignado su respectivo código, a la vez que el sistema de reconocimiento tenga capacidad para adquirirlo. Una base de datos permite establecer, de manera biunívoca, la entidad reconocida con su código.

Los códigos pueden ser del tipo numérico o alfanumérico, y cada entidad puede transmitir su propio código de manera continua, independientemente de que se lo soliciten, o bien por la proximidad de la unidad de reconocimiento cuando esta se lo solicita.

Los sistemas de comunicación pueden ser ópticos o mediante radiofrecuencia, en cuyo caso no se necesita la visión directa entre emisor y receptor. Las condiciones de limpieza y polvo de los ambientes agrícolas limita la utilización de los sistemas ópticos. En las transmisiones de radio frecuencia se pueden establecer dos categorías, según el equipo de transmisión sea activo o pasivo. En el caso de los sistemas activos, éstos se suelen equipar con baterías de litio, mientras que en los pasivos son las ondas electromagnéticas del sistema receptor las que activan las señales del emisor.

En los sistemas de radio frecuencia se utilizan los conocidos como transponder, término que



Imágenes monocromas de los índices de vegetación obtenidas a partir de la monitorización (vegetación enferma: color blanco).

deriva de la fusión de las palabras inglesas transmitir y responder. Con frecuencias diferentes permiten intercambiar información entre emisor y receptor. Los pasivos tienen limitado alcance de emisión (menos de 1 m), por lo que solo se utilizan en la identificación de animales. Los activos permiten establecer comunicación a distancias de hasta 10 m, y son similares a los que se utilizan para la apertura y cierre a distancia de puertas. Se han desarrollado otros que permiten la comunicación a distancias de más de 30 m, con intercambio bidireccional de información, pero su mayor coste, por el momento, los hace poco utilizados en la agricultura.

Los sistemas de comunicación por radio frecuencia más sencillos son los que se están utilizando para automatizar la monitorización operativa de los trabajos agrícolas, al detectar todas las operaciones agrícolas que realiza el tractor con los diferentes tipos de máquinas, para realizar un registro informático de las mismas (cuaderno de campo informatizado).



■ Sensores y actuadores

Los sensores son dispositivos con capacidad para convertir una magnitud física o química (temperatura, presión, pH, etc.) en una señal eléctrica, con una proporcionalidad entre la magnitud medida y la señal emitida. Esta señal eléctrica puede pasar a un sistema de registro (monitorización), o aun sistema de regulación y control (ECU). La señal eléctrica de tipo analógico habitualmente se convierte en digital (numérica) para entrar en el sistema de gestión.

Los actuadores son dispositivos que realizan una regulación automática mediante acciones externas elementales. Son generalmente dispositivos hidráulicos o electro-hidráulicos dotados de

potencia suficiente para intervenir sobre el equipo regulado en un tiempo prefijado, normalmente cuantificable en décimas de segundo. Su comportamiento está programado por el microprocesador que lleva integrado.

Los sensores de aplicación agrícola han aumentado considerablemente y mejorado sus prestaciones gracias a la investigación realizada para mejorar el control automático del funcionamiento de tractores y máquinas accionadas,


**LOS SENSORES
SON DISPOSITIVOS CON
CAPACIDAD PARA
CONVERTIR UNA
MAGNITUD FÍSICA O
QUÍMICA
(TEMPERATURA,
PRESIÓN, PH, ETC.) EN
UNA SEÑAL
ELÉCTRICA**


como la detección de la cantidad de mies que llega a la cosechadora para modificar su velocidad de avance y otros parámetros de trilla y limpia, o la regulación de la dimensión del picado en función de la humedad del forraje, aunque todavía hay problemas que obligan a la continua calibración de los sensores en función de las diferentes cosechas sobre las que se actúa.

En relación con los actuadores, hay que recordar las tecnologías a dosificación variable (VRT, *Variable Rate Technologies*), que permiten modificar de manera instantánea los elementos para la distribución de fertilizantes sólidos y líquidos. Los VRT derivan de anteriores aparatos denominados DPA (Caudal Proporcional al



Avance), desarrollados para garantizar la constancia de la dosis de abonado, o el volumen de aplicación de fitosanitarios, a partir de la indicación del avance de las ruedas de la máquina. Los nuevos equipos, dotados de servocontroles accionados por pequeños motores eléctricos paso-paso, permiten la modulación del caudal de salida para ajustar la dosis a los niveles establecidos y la modulación casi continua en las diferentes zonas de la parcela.

■ Sensores ópticos remotos

Para detectar la evolución de los cultivos resultan de gran utilidad los sensores ópticos remotos (*remote sensing*) que permiten evaluar ópticamente el estado fisiológico de las plantas basándose en la modificación de la radiación luminosa que provocan.

Los cambios de energía entre un individuo vegetal sano y su entorno circundante dependen del estado fitosanitario de sus células. En estado de alteración metabólica de la planta, a igualdad de radiación solar inci-

TABLA 2.- MEDIDAS REALIZADAS Y SENSORES UTILIZADOS HABITUALMENTE EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN

	Entidad	Magnitud medida	Tipo de medida
A	Humedad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Radiación multiespectral reflejada • Conductividad eléctrica • Reflexión de ondas de radio (1-1000 MHz) 	<ul style="list-style-type: none"> • Óptica (teledetección aérea o mediante satélites) • Dieléctrica • Electromagnética (GPR: <i>Ground Penetrating Radar</i>)
	Propiedades físicas del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la penetración (índice de cono) • Reflexión de ondas de radio (1-1000 MHz) • Emisión de infrarrojo 	<ul style="list-style-type: none"> • Mecánica o Magnética (penetrómetro manual o con célula de carga) • Electromagnética (GPR: <i>Ground Penetrating Radar</i>) • Óptica (sensor NIR)
	Configuración superficial del terreno	<ul style="list-style-type: none"> • Reflexión de ondas de radio o electromagnética 	<ul style="list-style-type: none"> • Electromagnética (radar o <i>Scan Laser</i> de detección aérea)
	Contenido de materia orgánica en el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Radiación multiespectral reflejada 	<ul style="list-style-type: none"> • Óptica (detección aérea o mediante satélite)
B	Presencia de plagas	<ul style="list-style-type: none"> • Radiación multiespectral reflejada • Radiación visible 	<ul style="list-style-type: none"> • Óptica (detección con sensores a bordo de las máquinas agrícolas, cálculo del índice multiespectral) • Óptica (sensores fotoeléctricos)
	Cantidad de biomasa del cultivo	<ul style="list-style-type: none"> • Desviación en la posición del péndulo • Distancia entre líneas (frutales y viña) • Radiación multiespectral reflejada 	<ul style="list-style-type: none"> • Mecánica o Magnética • Acústica (sensores de ultrasonido) • Óptica (teledetección mediante satélite, medios aéreos o sensores situados sobre las máquinas agrícolas)
	Vigor y estado fitosanitario del cultivo	<ul style="list-style-type: none"> • Radiación multiespectral reflejada 	<ul style="list-style-type: none"> • Óptica (teledetección mediante satélite, medios aéreos o sensores situados sobre las máquinas agrícolas; cálculo del índice de vegetación)
	Flujo de grano (recolección)	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal en términos de masa o de volumen 	<ul style="list-style-type: none"> • Magnética (paletas móviles con células de carga) • Magnética (paletas móviles con células de carga) • Óptica (sensores con fotocélulas) • Electromagnética (sensores con rayos gamma)
	Humedad del grano	<ul style="list-style-type: none"> • Variación de la conductividad • Emisión del infrarrojo 	<ul style="list-style-type: none"> • Dieléctrica (sensores capacitivos) • Óptica (sensores NIR)
	Control proteico de la biomasa	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión del infrarrojo 	<ul style="list-style-type: none"> • Óptica (sensores NIR)
C	Tractor o máquina autopropulsada	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de avance 	<ul style="list-style-type: none"> • Magnética (sensores con efecto Hall) • Electromagnética (radar Doppler)
	Tractor o máquina autopropulsada	<ul style="list-style-type: none"> • Régimen de rotación del motor 	<ul style="list-style-type: none"> • Magnética (sensores con efecto Hall o mediante inducción)
	Tractor o máquina autopropulsada	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de los gases de escape (proporcional a la carga del motor) 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistiva (termoresistencia o termopar)
	Máquina agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de funcionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Reloj (del receptor GPS o cualquier otro disponible)
	Máquina para la distribución de líquidos	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal en volumen 	<ul style="list-style-type: none"> • Magnética (sensores de inducción o con turbina)
	Máquina para la distribución de sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal en masa 	<ul style="list-style-type: none"> • Magnética (célula de carga)
	Concentración de soluciones distribuidas	<ul style="list-style-type: none"> • Conductividad eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Dieléctrica

(A: monitoreo ambiental; B: monitoreo del cultivo; C: monitoreo y control operativo)

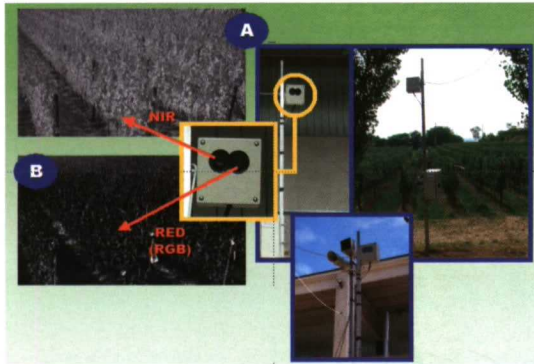


Fig. 5. Monitorización cultural en viña con sensores ópticos situados en puntos clave

dente, se observa una sensible disminución de la reflectancia en el infrarrojo próximo, acompañado de un aumento del calor emitido, o de un incremento de reflectancia en las bandas espectrales del verde y el rojo.

Estas propiedades se pueden utilizar para valorar el estado fisiológico de la vegetación, y eso resulta de gran interés por las aplicaciones prácticas en agricultura, también en virtud de algunas características peculiares de los sensoriales ópticos, ya que pueden repetirse las medidas sin interferir con el normal desarrollo de los cultivos, no necesitan un contacto directo y realizarse a distancia, y se pueden hacer de manera rápida desde un vehículo en movimiento.

Tradicionalmente se han utilizado cámaras fotográficas multispectrales complejas y caras, situadas a bordo de aviones que, periódicamente y bajo demanda, efectúan un reconocimiento del territorio deseado. En alternativa, también es posible recurrir a imágenes de satélite con diferente resolución y coste. Esto lo han puesto en práctica para sus sectores vitícolas estadounidenses y australianos, que al trabajar a gran escala pueden reducir los costes de la tecnología utilizada.

Para abaratar los costes de obtención de esta información, en diferentes países europeos, se están utilizando sensores ópticos terrestres situados sobre máquinas agrícolas que realizan los procesos normales de campo, o en puntos fijos representativos de la plantación sobre los que se realicen lecturas programadas en el tiempo. Todavía hay que resolver algunos problemas como el de integrar y correlacionar el nivel informativo de los dos sistemas de monitorización.

Como ejemplo, en la Fig. 5, se muestran dos imágenes monocromas de parte de una viña sometida a monitorización, relativas a las bandas tanto del rojo (RED) como del vecino infrarrojo (NIR). Esta pareja de imágenes ha sido registrada en las primeras horas de la mañana, en condiciones de iluminación lateral. El área corresponde una zona de 4 m de vegetación sobre dos hileras, previamente identificada como 'punto espía' representativo de las condiciones de la viña. ■



Segadoras · Rastrillos · Remolques

**"Tu trabajo,
un poco más fácil"**



DURAN
Maquinaria Agrícola s.l.

Carretera N-640 · KM 87,5 · Pedraza
La Campiña · 27192 · LUGO
Tel.: 982 22 71 65 · Fax: 982 25 20 86
info@duranmaquinaria.com