

سامانه‌های هوشمند در ماشینی کردن کشاورزی

عبدالله ایمان‌مهر^۱، محسن حیدری سلطان‌آبادی^۲

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: imanmehr2000@yahoo.com

۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: mheisol@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵

صص: ۳۱-۴۰

چکیده

با خودکارسازی عملیات ماشین‌های کشاورزی، بسیاری از فعالیت‌های بخش ماشینی کردن کشاورزی را می‌توان هوشمند کرد. با پیشرفت‌های فناوری و تولید سامانه‌های هوشمند، به وسایل و ادوات کشاورزی قابلیت‌های جدیدی افزوده شده است. سامانه‌های هوشمند، با استفاده از فناوری‌های پیشرفته به محیط اطراف واکنش ادراکی دارند. سامانه‌های هوشمند بر تعامل با کاربران و تغییرات و پویایی محیط‌های اجتماعی و فیزیکی تأکید دارند. این سامانه‌ها تجهیزات مستقلی هستند که می‌توانند محیط اطراف خود را درک و اهداف خاصی را ردگیری کنند. علی‌رغم نوین‌بودن این فناوری، در کشاورزی دقیق کاربردهای اساسی دارند. پیشرفت‌های متعددی در پیدایش و رشد وسایل هوشمند کشاورزی سهم داشته‌اند، از جمله می‌توان به افزایش سریع قدرت محاسباتی، تولید قطعات الکترونیکی و مجموعه‌های غنی از حسگرها که اکثر آن‌ها نسبتاً ارزان‌قیمت نیز هستند، و فراگیر شدن سامانه‌های موقعیت‌یاب جهانی مانند جی‌پی‌اس اشاره کرد. گرچه در کشور ما به علت شرایط خاص کشاورزی همچون خرد بودن اراضی و کم‌برخوردار بودن کشاورزان، استفاده از سامانه‌های پیشرفته توسعه‌نیافته است اما برای بهره‌مندی از مزایای فراوان ماشینی کردن کشاورزی هوشمند و افزایش تولید بهینه با حداقل تلفات و ضایعات، آشنایی مدیران کشاورزی و بهره‌برداران با این سامانه‌های هوشمند و علوم مرتبط با آن‌ها باید در برنامه‌های توسعه‌ای - کاربردی مؤسسات و نهادهای تحقیقاتی کشاورزی قرار گیرد. هدف این مقاله ارائه و معرفی اجمالی برخی از سامانه‌های هوشمند در ماشینی کردن کشاورزی است.

کلیدواژه‌ها: سامانه هوشمند، خودکارسازی کشاورزی، آموزش کشاورزی، موسسات پژوهشی، نقش آفرینان.

مقدمه

با ویژگی‌های وسایل هوشمند در ماشین‌های کشاورزی است که معمولاً بزرگ هستند، با موتورهای پر قدرت دیزلی کار می‌کنند، بسیار گران و بالاتر از همه مستعد حادثه هستند. به این دلایل، اگرچه این آدم‌واره‌ها زمینه‌های مشترکی با آدم‌واره میدانی عمومی دارند، اما تجهیزات مزرعه‌ای نیازهای خاصی دارند و به همین دلیل منطقی است که در دنیای آدم‌واره‌ها، جایگاه فنی خاصی به نام «آدم‌واره کشاورزی» برای آن‌ها در نظر گرفته شود. الگوهایی که سامانه‌های هوشمند را اداره می‌کنند ممکن است از قوانین منطقی ساده - که بر وظایف اصلی نظارت می‌کنند - تا الگوریتم‌های پیچیده هوش مصنوعی برای انجام عملیات پیچیده را شامل شوند. چنین الگوریتم‌های سطح بالایی ممکن است از سازوکارهای رایجی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، منطق فازی، استدلال احتمالی یا الگوریتم‌های ژنتیک تشکیل شده باشند (راسل و نوریگ^۵، ۲۰۰۳).

کاربردها و مزایای ماشین‌های خودکار

برخلاف آدم‌واره‌های حمل و نقل بزرگ که در محیط‌های بدون ساخت و ساز حرکت می‌کنند، وسایل نقلیه کشاورزی معمولاً در مزارع و برای حرکت در میان ردیف‌های کشت شده، خطوط درختان باغ‌ها یا راهروهای گلخانه‌ها برنامه‌ریزی شده‌اند. این سازه‌های ساخت انسان ویژگی‌هایی دارند که در هدایت وسایل نقلیه خودکار مفید است. بنابراین، فرمان‌پذیری خودکار وسیله را تسهیل می‌کند. به هر حال، همانند الگوی مزرعه، ماهیت عملیات کشاورزی نیز این دستگاه‌ها را به خودکارسازی سوق می‌دهد. هم‌زمان با پیش‌بینی رشد سریع بازار آدم‌واره‌های خدماتی، اطلاعات آماری حاکی از نقش مهم کاربردهای کشاورزی آن‌ها در دو دهه آینده است (تحقیقات گرنند ویو^۶،

در طول قرن گذشته، ماشینی کردن کشاورزی سختی کار مزرعه را کاهش و بهره‌وری، کارایی و کیفیت کار را افزایش داده است. با این حال، با افزایش روزافزون جمعیت جهان که در سال ۲۰۵۰ از ۹/۵ میلیارد نفر عبور خواهد کرد (سازمان ملل متحد، ۲۰۱۷)، بهره‌وری و کارایی فعلی ناکافی به نظر می‌رسد. در عملیات کشاورزی، دیگر نمی‌توان با تکیه صرف بر نیروی انسانی برای افراد جامعه غذا تولید کرد بلکه باید از ماشین‌های کشاورزی جدید استفاده شود (جورینگ و هانسن^۱، ۲۰۰۴). بنابراین، عملکرد تجهیزات مزرعه‌ای باید بهبود یابد و اینجا جایی است که مکاترونیک^۲ و هوش ماشینی حضور می‌یابند. مکاترونیک فقط افزودن حسگرها و وسایل الکترونیکی به یک دستگاه مکانیکی موجود نیست بلکه ادغام متوازن همه آن‌ها به روشی است که هر جزء عملکرد بقیه اجزاء را افزایش دهد (بولتون^۳، ۱۹۹۹). مکاترونیک، فناوری‌هایی مثل حسگرها، سامانه‌های نظارت خودکار، پردازنده‌های محاسباتی و انتقال نیرو را در کنار سازوکارهایی از جمله محرک‌های قدرت سیال قرار می‌دهد. به بیان دقیق‌تر، فقط انسان‌ها با هوش هستند، اما می‌توان الگوریتم‌های رایانه‌ای را در پردازنده یک وسیله هوشمند مزرعه‌ای اجرا کرد تا فعالیت کشاورزی خاصی را خودکار کند و رفتار انسان را انجام دهد. اگر هوش را توانایی مدیریت دانش تعریف کنیم (روویرا-ماس و همکاران^۴، ۲۰۱۰)، رایانه برای ماشین‌ها همان مغز برای انسان‌هاست. نمونه‌های رایج آدم‌واره‌های موجود در بازار عبارت‌اند از: جاروبرقی‌ها، چمن‌زن‌ها، آدم‌واره‌های تمیزکننده استخر و وسایل سرگرمی. آنچه در این آدم‌واره‌ها مشترک است، اندازه کوچک، توان مورد نیاز پایین، استفاده بی‌خطر و قیمت رقابتی آن‌ها است. این ویژگی‌ها درست متضاد

1. Goering & Hansen

۲. نام یکی از علوم میان رشته‌ای است که از ترکیب چهار علم مکانیک، رایانه، کنترل و الکترونیک تشکیل شده است. قسمت مکانیک به مکانیک، کا آن کامپیوتر، تر آن کنترل و نیک آن به الکترونیک اشاره دارد

3. Bolton

4. Rovira-Más *et al*

5. Russell & Norvig

6. Grand View Research

ابزارها نیز کاربر خارج از اتاقک و گاهی از فاصله‌ای دور بر وسیله نقلیه نظارت دارد. این ویژگی وضعیتی ترکیبی^۵ است زیرا گرچه کاربر انسانی همه هدایت ماشین را برعهده دارد اما ماشین بدون راننده حرکت می‌کند. به همین دلیل به هوشمندسازی کمی نیاز دارد. این روش برای تجهیزات مزرعه‌ای مناسب نیست زیرا ماشین‌های کشاورزی و جنگل‌داری سنگین و پر قدرت بوده و به همین دلیل معمولاً حضور کاربر برای تضمین ایمنی آن لازم است. ارتباطات بی‌سیم برای نظارت از راه دور بر ماشین‌های بزرگ هنوز به سطح مطلوبی از قابلیت اطمینان نرسیده است. مرحله بعدی، که در حال حاضر جالب‌ترین روش برای هدایت ماشین‌های کشاورزی هوشمند است را می‌توان «نیمه خودکار^۶» نامید. در حال حاضر، این روش توجه اصلی تحقیقات هدایت خودکار را به خود جلب کرده و مشابه با استفاده از هدایتگرهای خودکاری است که در هواپیماها بکار می‌روند: کاربر در جای خود نشسته است و نظارت دارد، اما اکثر اوقات (در امتداد ردیف‌های کشت در مزرعه) فرمان‌گیری به‌طور خودکار انجام می‌شود. معمولاً هدایت ماشین‌ها از محل نگهداری تا مزرعه، اتصال ادوات آماده‌به‌کار به ماشین و انتقال ماشین به ردیف بعدی در انتهای ردیف‌ها، رانندگی دستی است. مرحله نهایی در مسیر تکاملی هدایت خودکار، «تمام خودکار^۷» نامیده می‌شود. در وضعیت تمام‌خودکار، گروهی از ماشین‌های کاملاً خودکار، امور زراعی مزرعه را به‌خودی‌خود انجام داده و پس از اتمام کارها بدون دخالت انسان به محل نگهداری بازمی‌گردند. ایمنی و قابلیت اطمینان سامانه، مطمئناً بزرگ‌ترین مانع برای رسیدن به حالت تمام‌خودکار است.

۲۰۱۷). عملیات مزرعه‌ای مانند کاشت، خاک‌ورزی، داشت، سم‌پاشی و برداشت محصول، از الگوهای اجرایی تکراری تشکیل شده‌اند و کاربر باید در امتداد ردیف‌های کشت مزرعه، ساعت‌ها فعالیت‌های یکسانی را انجام دهد. در بازه‌های زمانی طولانی، تکرار یک فعالیت، خستگی و آسیب‌های جسمانی در پی خواهد داشت. به‌علاوه، از دست رفتن تمرکز راننده برای یک لحظه می‌تواند باعث مرگ او شود. مزایای استفاده از خودکارسازی وسایل هوشمند برای کشاورزی و جنگل‌داری بسیار است. با این حال، ایمنی، قابل اطمینان بودن و استحکام همیشه ویژگی‌هایی هستند که قبل از ارائه یک سامانه یا طرح جدید باید به آن‌ها توجه شود.

حالات خودکار: عملکرد از راه دور، نیمه خودکار، تمام خودکار

در میان عملکردهای خودکار، هدایت ماشین وظیفه‌ای است که بیشتر از همه خیال رانندگان را راحت کرده است و به آن‌ها اجازه می‌دهد تا درحالی که وسیله نقلیه با دقت و بدون تلاش راننده هدایت می‌شود، بر روی دیگر فعالیت‌های مدیریتی متمرکز شوند. هدایت خودکار سطوح مختلفی دارد، از اعلام هشدار گرفته تا نظارت کامل بر وسیله نقلیه، که به سطوح مختلفی از پیچیدگی نیاز دارند. درست بعد از گسترش «سامانه موقعیت‌یاب جهانی»^۱ (جی پی اس)، اساسی‌ترین سامانه ناوبری ابداع شد که احتمالاً گسترده‌ترین سامانه حال حاضر است. این سامانه اولیه، صرف‌نظر از اهمیت و منفعت آن به‌عنوان پیشگام دیگر سامانه‌های هدایتی، نمی‌تواند به‌خودی‌خود ابزاری خودکار در نظر گرفته شود زیرا راننده نظارت کامل وسیله نقلیه را در دست دارد و فقط از هدایتگر کمک می‌گیرد. همچنین، موقعیت‌یابی مبتنی بر ماهواره معمولاً با خطاهای مختلفی روبه‌رو است که برخی از آن‌ها را نمی‌توان به‌طور کامل جبران کرد (دیر و کمپانی^۲، ۲۰۱۷). وسایل نقلیه با «عملکرد از راه دور^۳» یا «نظارت از راه دور^۴»، از نظر پیچیدگی، در سطح بالاتر قرار دارند. در این

1. Global Positioning System
2. Deere & Company
3. Teleoperated
4. Remote-Controlled
5. Hybrid
6. Semiautonomy
7. Full Autonomy

اجزاء و سامانه‌های وسایل نقلیه هوشمند

انواع ماشین‌های آدم‌واره‌ای که در وسایل نقلیه کاربرد دارند و از مجموعه حسگرها، صفحات نمایشی و پردازشگرهای مختلف استفاده می‌کنند، بسیار متفاوت‌اند اما اسکلت وسایل نقلیه به هم شبیه هستند. بنابراین، این ماشین‌ها، بزرگ، قدرتمند و معمولاً گران‌قیمت هستند. از آنجا که رانندگان این وسایل نقلیه باید دوره‌های آموزشی خاصی را بگذرانند و به انجام رفتار مسئولیت‌پذیر متعهد باشند، قراردادهای پیشگیری و ایمنی نسخه‌های خودکار این وسایل نقلیه باید دقیق تنظیم شوند. برای اطمینان از طراحی کارآمد، ویژگی فیزیکی حسگرها و محرک‌ها نیز بااهمیت است. یکی از اشتباهات عمده هنگام تولید و

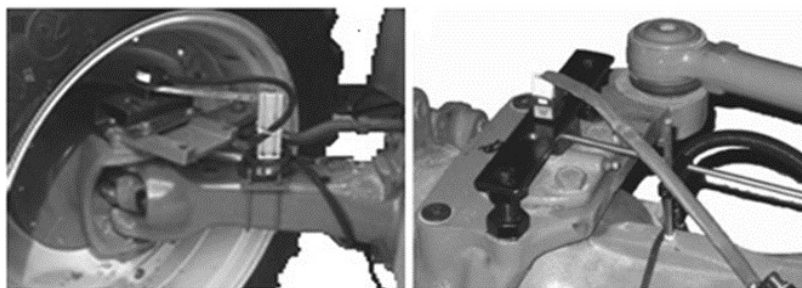
ابداع یک وسیله نقلیه، بی‌توجهی به شرایط محیطی آدم‌واره‌ای است که قرار است در فضای باز استفاده شود. بی‌توجهی به شرایط نامساعد محیطی (مانند سرمای زیاد، ارتعاشات موتور و جاده، تشعشعات سوزاننده و دماهای بالا، بادهای شدید، رطوبت بالا، شبنم و باران‌های پیش‌بینی نشده، گردوغبار، اصطکاک شاخه‌ها، در معرض پاشش مواد شیمیایی قرار گرفتن) است. این شرایط باعث می‌شوند تا وسایل نقلیه هوشمند کشاورزی طراحی ویژه‌ای داشته و با طراحی آدم‌واره‌های سنتی متحرک که برای کار در محیط‌های سرپوشیده (نظیر ادارات یا کارخانه‌ها) استفاده می‌شود متفاوت باشند. شکل ۱ یک تراکتور مجهز به ادوات هوشمندسازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. ساختار عمومی یک تراکتور کشاورزی هوشمند

وجود دارد: اول: نظارت غربیلک فرمان با یک موتور پله‌ای و دوم: تحریک اتصال فرمان وسیله نقلیه. شکل ۲، نصب رمزگذارها بر روی تراکتورهایی با دو نوع چرخ متفاوت را نشان می‌دهد.

جریان‌سنج‌ها، رمزگذارها و توان‌سنج‌ها برای فرمان‌گیری چرخ جلو برای راه‌اندازی سامانه هدایت خودکار تحریکی، دو روش



شکل ۲. نصب رمزگذار نوری بر روی دو تراکتور آدم‌واره‌ای با چرخ‌های متفاوت

پالس‌شمارهای مغناطیسی و رادارها برای تعیین سرعت نظری و

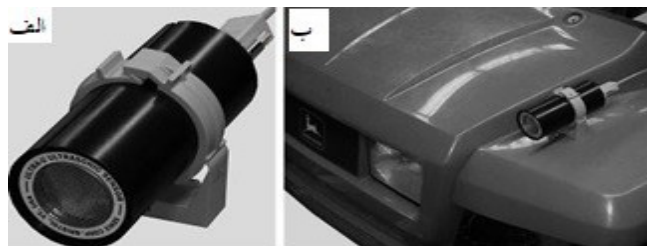
سرعت زمینی

وقتی قطر چرخ و تعداد گردش آن در زمانی معین مشخص باشد، می‌توان «سرعت پیشروی نظری^۱» یک وسیله نقلیه را محاسبه کرد. با نصب یک پالس‌شمار مغناطیسی بر روی چرخ یا محور، می‌توان سرعت زاویه‌ای چرخ را به‌سادگی اندازه گرفت. این نوع شمارشگرها به مجموعه‌ای از علامت‌ها و وسایل علامت‌گذاری موقعیت زاویه‌ای و یک زمان‌سنج نیاز دارند. اگرچه برای برآورد لغزش چرخ باید سرعت نظری را اندازه گرفت اما در اهداف ناوبری باید سرعت واقعی اندازه‌گیری شود. برای مثال، تغییرات میزان آب‌دهی نازل سم‌پاش هوشمند، براساس سرعت واقعی تعیین می‌شود. با ابزارهای محاسبه‌گر «زمان رفت و برگشت^۲»، مانند رادار اندازه‌گیری، می‌توان سرعت پیشروی را اندازه‌گیری کرد. وسایل نقلیه‌ای که مانند جی پی اس، به سامانه‌های ماهواره‌ای هدایت جهانی مجهز هستند می‌توانند با دریافت پیام‌های ارسال‌شده از ماهواره‌ها به گیرنده، سرعت پیشروی را برآورد کنند؛ زیرا با استفاده از جی پی اس، موقعیت و زمان، به‌صورت زمان واقعی محاسبه می‌شود.

ردیاب صوتی^۳ و لیزر (لیدار^۴) برای تشخیص مانع و ناوبری

دیزمانی است که برای هدایت آدم‌واره‌های متحرک، از حسگرهای فراصوتی استفاده می‌شود. این حسگرها اساساً از

ردیاب فاصله‌سنج صوتی پلازوید^۵ ارزان‌قیمت استفاده می‌کنند. استفاده به‌عنوان کمک‌یار توقف اتومبیل، یکی از کاربردهای متداول حسگرهای فراصوتی است. ماشین‌های کشاورزی که در فضای باز کار می‌کنند، باید از ردیاب‌های صوتی باکیفیت برای شناسایی موانع استفاده کنند. حسگرهای فراصوتی (شکل ۳ الف)، به‌عنوان سامانه‌های هشدار ایمنی، برای شناسایی اشیاء متحرک در نزدیکی ماشین‌های کشاورزی طراحی شده‌اند (گو و همکاران^۶، ۲۰۰۲). حسگرهای فراصوتی دستگاه‌های فاصله‌سنجی هستند که براساس زمان بین انتشار و انعکاس یک موج فراصوت، فواصل را محاسبه می‌کنند. لیدار (ابزار تشخیص نور و فاصله‌سنجی) ابزاری نوری است که برای تعیین حدود یا فواصل تا اشیاء و سطوح استفاده می‌شود. برای تعیین فاصله می‌توان از منابع نوری مختلفی استفاده کرد، اما استفاده از پالس‌های لیزری روشی رایج است. نور لیزر، به‌دلیل مناسب بودن چگالی و پیوستگی اشعه آن، برای هدایت وسیله نقلیه بسیار مناسب است. اشعه لیزر بسیار باریک است و ساطع‌کننده^۷ را به چرخش وامی‌دارد تا میدان دید جلوی وسیله نقلیه را پوشش دهد. تفکیک‌پذیری بالای لیدارها باعث شده است تا برای تشخیص و اجتناب از موانع، استفاده از آن‌ها در آدم‌واره‌های مزرعه‌ای رواج یابد (گیبب^۸، ۲۰۰۸). آرایه‌ای از سلول‌های الکترونیکی حساس به نور، اطلاعات بصری را گرد می‌آورند. در شکل ۴، چند دوربین تک‌چشمی کاربردی برای هدایت خودکار وسایل نقلیه هوشمند نشان داده شده است. با



شکل ۳. حسگر فراصوتی (الف)

استفاده شده در سامانه هشدار ایمنی یک وسیله نقلیه کشاورزی (ب)

1. Theoretical Forward Speed
2. Time-of-Flight
3. Sonar
4. Lidar
5. Polaroid Ranging Sonar
6. Guo et al.
7. Emitter
8. Gibbs

از عدسی عبور کنند تا با سلول‌های حساس تصویرساز برخورد کنند.

استفاده از عدسی‌های دوربین، تصاویر شکل می‌گیرند. پرتوهای نور باید



شکل ۴. دوربین‌های تک‌چشمی برای ادراک بصری در وسایل نقلیه هوشمند

فقط با موقعیت‌یاب جهانی کار می‌کنند به محصولات کشاورزی آسیب‌های غیرقابل جبرانی بزنند. استفاده از حسگرهای ادراک محلی، یکی از راه‌حل‌های این مشکل جدی است. استفاده از بینایی ماشینی، به دلیل توانایی دیدن جلوی ماشین، احتمالاً بهترین گزینه است. برای تنظیم دماغه دروگر با ردیف‌های محصول، می‌توان بر روی دستگاه دوربین نصب کرده و خط‌های جزئی را تصحیح کرد (روویرا - ماس و همکاران، ۲۰۰۸). با استفاده از دوربینی با کیفیت (تاسی تصویر در ثانیه)، با میدان دید و وضوح تصویری قابل تنظیم، می‌توان محدوده مجاز کوچکی که وسیله نقلیه نیاز دارد تا بدون آسیب‌رسانی به محصولات هدایت شود را محاسبه کرد. توانایی بینایی رایانه‌ای در حفاظت و تشخیص موانع، مهم‌ترین علت استفاده از دوربین‌های ویدیویی در سامانه‌های ادراک خودکار است. وسایل نقلیه کشاورزی در زمین‌هایی فعالیت می‌کنند که سایر کارگران، وسایل نقلیه و حتی دام‌ها در مجاورت آن‌ها در مسیرهای از پیش تعیین نشده‌ای در تردد هستند و هر زمان ممکن است مانعی با خط‌سیر وسیله نقلیه تداخل داشته باشد. لذا، وسیله نقلیه باید بلادرنگ مانع را تشخیص دهد طوری که بتواند بایستد یا منحرف شود و از تصادف مانع شود. اطلاعات بینایی ارزشمندی که در این روش به دست می‌آید می‌تواند علاوه بر هدایت وسیله نقلیه برای سایر کاربردها نیز استفاده شود. وقتی مشخصات محیط مزرعه در قالب زنجیره

سامانه‌های ماهواره‌ای ناوبری جهانی (جی ان اس اس)^۱

در حال حاضر، بیشتر تولیدکنندگان پیشگام ماشین‌های کشاورزی و نیز برخی از تولیدکنندگان داخلی، در تولیدات پیشرفته خود از سامانه‌های کمک ناوبری نیز استفاده می‌کنند. هرچند جی پی اس باعث شد تا ناوبری ماهواره‌ای وسایل نقلیه توسعه یابد اما این سامانه یکی از کاربردهای عمومی «سامانه‌های ماهواره‌ای ناوبری جهانی» است. علی‌رغم استفاده گسترده و مزایای آشکار موقعیت‌یاب جهانی، این فناوری اشکالات مهمی دارد که در کاربردهای ناوبری خودکار باید به آن‌ها توجه شود. خطرهای ناشی از دستوره‌های ناوبری نامعتبر برای هدایت یک وسیله نقلیه مزرعه‌ای بزرگ، استفاده از حسگرهای اضافی ادراکی محلی را ضرورت می‌بخشند. برای این منظور، از لیدارها یا حسگرهای تصویربرداری استفاده می‌شود.

بینایی ماشینی برای آگاهی محلی

برخی از کشاورزان پیشرفته (پذیرنده‌های اولیه جی ان اس اس و فناوری‌های وابسته به آن) یادآور شده‌اند که اگر در مزرعه از سامانه‌های دقیقی مانند «سامانه موقعیت جغرافیایی - سینماتیک زمان واقعی» استفاده نشود، مشخصات ثبت‌شده ردیف‌های محصول در زمان کاشت، با موقعیت همان ردیف‌ها هنگام برداشت یکسان نخواهد بود. اگر قبل از برداشت محصول موقعیت‌یابی تصحیح نشود، ممکن است ماشین‌های خودکاری که

1. Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

تصاویر حاصل از یک «دوربین سه‌بعدی» می‌توان نقشه‌های سه‌بعدی تهیه کرد (روویرا-ماس و همکاران، ۲۰۰۸). همه حسگرها به تنظیم مناسبی نیاز دارند. پس از انتخاب حسگر بینایی و تجهیز آن به عدسی‌ها یا پالایه‌های مناسب، باید آن را بر روی وسیله نقلیه نصب کرد. این دوربین‌ها را در موقعیت‌های متعددی می‌توان نصب کرد اما برای موفقیت در ادراک محیط، استقرار صحیح دوربین در موقعیت مناسب بسیار ضروری است. دوربین‌ها را می‌توان در انتهای جلوی دماغه تراکتور (شکل ۵) یا روی اتاقک (شکل ۵ ب) نصب کرد.



شکل ۵. موقعیت‌های دوربین: (الف) جلوی دماغه تراکتور؛ (ب) بر روی اتاقک تراکتور؛ (ج) در جلوی دروگر

غروب خورشید و یا حتی برای کارهای شبانه، و زمانی که کاربر به‌سختی می‌تواند یک انسان یا حیوان پنهان‌شده در بین گیاهان را تشخیص دهد، دمای موجودات زنده به‌طور قابل توجهی بیشتر از دمای گیاهان اطراف و خاک است. چنین تفاوت‌های دمایی بر روی نمودار گرماسنجی یک صحنه قابل تشخیص است و الگوریتم حفاظتی بعد از انجام تحلیل‌های گرماسنجی تصویر مادون‌قرمز، می‌تواند پیام‌های هشداردهنده‌ای مبنی بر تغییر جهت یا توقف وسیله نقلیه صادر کند.

حسگرهای اینرسی و مغناطیسی برای پویایی وسیله نقلیه:

شتاب‌سنج‌ها، ژيروسکوپ‌ها و قطب‌نماها

سامانه‌های نظارت بازخورد، روش‌هایی هستند که عموماً برای دستیابی به خود‌کارسازی در آدم‌واره میدانی بکار می‌روند. ایده

پیوسته‌ای از تصاویر به‌دست آمد، نقشه‌برداری و الگوریتم‌های نظارتی می‌توانند صحنه مزرعه را بازسازی کرده و وضعیت رشد یا تکامل آن را برآورد کنند. دامنه حسگرهای تصویربرداری موجود متفاوت است و هر کاربرد خاص به راه‌حلی متفاوت نیاز دارد. تشخیص سلامت گیاهان برای کودپاشی خودکار با استفاده از دوربین‌های «فراطیفی^۱» و «چندطیفی^۲» و سم‌پاشی هوشمند با استفاده از دوربین‌های «تک‌چشمی^۳» با موفقیت انجام شده است. هدایت خودکار می‌تواند هم از دوربین‌های تک‌چشمی و هم از لوازم بینایی سه‌بعدی دوچشمی کمک بگیرد. با گردآوری

دوربین‌های حرارتی و مادون‌قرمز برای تشخیص موجودات زنده
در هنگام برداشت، پرتوها و امواج حسگرهای بینایی لیدارها (لیزرها) و دستگاه‌های فراصوتی نمی‌توانند در یک لایه ضخیم از گیاهان متراکم نفوذ کنند. برای مثال، ذرت به‌راحتی در انتهای دوره رشد خود می‌تواند به ارتفاع دو متر برسد. در چنین موقعیتی، سامانه ایمنی یک ماشین خودکار نمی‌تواند حضور موجودات زنده درون محصول را تنها با تکیه بر حسگرهای ادراک محلی خود، مانند دوربین‌ها و فاصله‌سنج نوری، تشخیص دهد. از احشام زیر گرفته‌شده و حتی کارگران بی‌دقت مصدوم‌شده با ماشین‌های کشاورزی (که به‌طور دستی راه‌اندازی می‌شوند)، گزارش‌هایی وجود دارد. برای پرهیز از این شرایط، برخی از وسایل نقلیه پیشرفته از دوربین‌های حرارتی مادون‌قرمز^۴ استفاده می‌کنند که می‌توانند از یک صحنه مفروض نقشه گرماسنجی تهیه کنند. دوربین‌های حرارتی معروف به «اشعه مادون‌قرمز جلونگر^۵»، براساس تشعشعات مادون‌قرمز منتشرشده از اشیاء تصویر تولید می‌کنند. وقتی شدت روشنایی کم است، مانند زمان طلوع یا

1. Hyperspectral
2. Multispectral
3. Monocular
4. Stereoscopic Camera
5. Infrared Thermocameras
6. Forward-Looking Infrared Radiation

سامانه‌های هوشمند کشاورزی مانند آنچه در کشورهای پیشرفته اتفاق افتاده، توسعه نیافته است. با این حال، در همین شرایط فعلی در بسیاری از امور تولیدات بخش کشاورزی، دامی، گلخانه‌ها و شیلات، امکان به کارگیری روش‌های پیشرفته خودکار وجود دارد. به عنوان مثال، تجهیز کمباین‌های برداشت غلات به نمایشگرهای نشان‌دهنده تلفات، استفاده از حس‌گرهای زمان آبیاری، خودکارسازی گلخانه‌ها، هشداردهنده‌های سرمازدگی و گرمزدگی و برخی از موارد مشابه در کشور آغاز شده است. به هر حال، با وجود همه تفاوت‌ها و محدودیت‌ها و با توجه به لزوم افزایش بهره‌وری در تولیدات کشاورزی، دامی و غیره، آشنایی با اصول اولیه ماشینی کردن هوشمند و روش‌های توسعه آن از ضرورت‌های حال و آینده کشور است.

همان‌طور که اشاره شد، با استفاده از تجهیزات هوشمند می‌توان بسیاری از فعالیت‌ها و عملیات ماشین‌های کشاورزی را خودکار کرد. با پیشرفت‌های فناوری و تعریف کاربردهای جدید، قابلیت‌های جدیدی به وسایل نقلیه هوشمند افزوده می‌شوند که برخی از این قابلیت‌ها عبارتند از:

- هدایت خودکار، شامل کمک بصری در هدایت، فرمان‌گیری خودکار و یا اجتناب از موانع؛
- نظارت خودکار ادوات، شامل هم‌ترازی ادوات با محصول، سم‌پاشی هوشمند، کشت / کودپاشی دقیق، بالابردن / پایین آوردن اتصال سه‌نقطه بدون دخالت انسان و غیره؛
- نقشه‌برداری و نظارت، جمع‌آوری اطلاعات با ارزش به صورت زمان واقعی^۴ و ذخیره‌سازی مناسب آن‌ها برای کاربردهای بعدی با استفاده از سایر عملکردهای هوشمند یا تنها به عنوان سابقه ثبت اطلاعات؛
- هشدارهای ایمنی خودکار، مانند تشخیص هنگامی که کاربر درست در جای خود قرار نگرفته، به خواب رفته،

اصلی، برآورد اختلاف (خطای) بین وضعیت مطلوب و وضعیت واقعی است و از آن برای نظارت بر دستورات حرکتی وسیله نقلیه استفاده می‌شود. روش اختصاصی انجام این کار با طراحی الگوریتم نظارت‌کننده و حلقه نظارت تعریف می‌شود. پویایی حرکت، به پاسخ وسیله نقلیه به دستورات ناوبری وابسته است که واحد هوش ارسال می‌کند و معمولاً در الگوی پویایی معادلات حرکت، مانند الگوهای نظارت فضایی وضعیت و پالایه‌های کالمن، وجود دارد.

سایر حسگرها برای پایش عملکردهای موتور

خودکارسازی کامل یک وسیله نقلیه کشاورزی ممکن است عملکردهای متفاوتی را شامل شود، مثل: بالابردن ادوات در انتهای زمین، کاهش سرعت در انتهای ردیف‌ها، شتاب دادن و پایین آوردن ادوات در ابتدای ردیف، درگیر کردن محور توان‌دهی، قفل کردن دیفرانسیل یا یکی از چرخ‌های کششی برای دورزدن و غیره. انجام این اقدامات به محرک‌های مناسب و چند حسگر بازخورد نیاز دارد که به‌طور مستقیم به عملکرد وسیله نقلیه کمک کنند و یا از طریق یک شبکه بی‌سیم، اطلاعات را به یک ایستگاه جمع‌آوری داده بفرستند. حسگرها انواع مختلفی دارند از جمله: سرعت‌سنج‌های^۱ موتور، کیلومترشمارها، موقعیت اهرم دنده، موقعیت اتصال سه‌نقطه، مصرف سوخت و میزان سوخت مخزن، موقعیت ترمز، موقعیت قفل / باز بودن دیفرانسیل و غیره. یک روش موفق برای هماهنگی این حسگرها، نصب یک «شبکه رایانه‌ای ناحیه‌ای^۲» بر روی دستگاه است. در واقع، این شبکه رایانه‌ای گذرگاهی اطلاعاتی است که همه حسگرهای وسیله نقلیه را به هم ربط داده و نظارت کلی بر آن‌ها را تسهیل می‌کند (روویرا - ماس و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج و توصیه‌ها

در کشور ما به دلیل شرایط خاص کشاورزی مانند خرد بودن اراضی و قدرت اقتصادی ضعیف اکثر کشاورزان، استفاده از

1. Tachometers
2. Speedometers
3. Computer Area Network
4. Real-Time

- agriculturists*. John Deere Publishing, Moline, Illinois, EEUU.
- Gibbs, W. W. (2008). Innovations from a robot rally. *Sci Am Rep* 18:80-88.
- Goering, C. E., & Hansen, A. C. (2004). *Engine and tractor power* (4th ed.). St. Joseph, MI: ASABE.
- Grand View Research*. (2017). Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/agricultural-robots-market>.
- Guo, L., Zhang, Q. & Han, S. (2002). Agricultural machinery safety alert system using ultrasonic sensors. *Journal of Agricultural Saf Health* 8(4):385-396.
- Rovira-Más, F., Zhang, Q. & Hansen, A. C. (2010). *Mechatronics and intelligent systems for off-road vehicles*. London: Springer-Verlag.
- Rovira-Más, F., Zhang, Q. & Reid, J. F. (2008). Stereo vision three-dimensional terrain maps for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60 (2), 133 – 143.
- Russell, S., & Norvig, P. (2003). *Artificial Intelligence: a modern approach* (2nd ed.). *Upper Saddle River*, NJ: Prentice Hall.
- United Nations, Department of economics and social affairs (2017). *World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100*. Retrieved from <https://www.un.org/development/>

یا با سرعت بسیار سریع در مجاورت سایر وسایل نقلیه یا ساختمان‌ها حرکت می‌کند؛

- پیام‌رسانی منظم برای ارسال اطلاعات به‌روزشده به ایستگاه مزرعه، نمایندگی فروش، کامیون‌های باربری یا عاملین فروش درباره عملکرد و کیفیت محصول، شرایط برداشت، نرخ برداشت و وضعیت نگهداری وسایل نقلیه.
- بنابراین، آموزش مفاهیم و کاربردهای مکاترونیک و ایده استفاده از تجهیزات هوشمند در عملیات کشاورزی باید مورد توجه قرار گیرد و مزایای فناوری‌های دیجیتال برای تولید محصولات کشاورزی در نظر گرفته شود. در این راستا لازم است کشاورزان و بهره‌برداران با عملکرد دستگاه‌های سنسجش متداول مانند واحدهای اندازه‌گیری، فاصله‌یاب‌ها و دوربین‌های دیجیتال و همچنین گیرنده‌های موقعیت‌یابی آشنا شوند.

منابع

- Bolton, W. (1999). *Mechatronics* (2nd ed.). New York: Addison Wesley Longman Publishing.
- Deere & Company (2017). *The precision farming guide for*

Intelligent systems in agricultural mechanization

Abdollah Imanmehr¹, Mohsen Heidarisolatanabadi²

1-Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran. (Corresponding Author). Email: imanmehr2000@yahoo.com.

2-Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran. Email: mheisol@gmail.com

Abstract

Many tasks in agricultural mechanization can be made intelligent through the automation of agricultural machinery operations. With technological advances and the production of intelligent systems, new capabilities are added to agricultural tools and equipment. Intelligent systems are systems that have advanced technology react to the world around them with perception. Intelligent systems in their fields focus on interaction with users and changes and dynamics of social and physical environments. Today's smart systems and robots are independent equipment that can understand their surroundings and pursue specific goals. Despite the fact that this technology is still in its infancy, it has yielded significant results such as fundamental applications related to the new concept of precision agriculture. Several developments have contributed to the emergence and then growth in the field of intelligent agricultural devices, including: the rapid increase in computing power in recent years (in terms of speed and storage capacity), the emergence of electronic components and rich sets of sensors, most of which are relatively inexpensive, and the spread of global positioning systems such as GPS. Although in our country, due to the special conditions of agriculture, such as the small size of the land and the weak economic power of farmers, the use of advanced systems has not been developed, but in order to use from the many benefits of smart agricultural mechanization and increase optimal production with minimal losses, the familiarity of agricultural managers and operators with these intelligent systems and the sciences related to them should be included in the development-application programs of agricultural research institutes. The purpose of this article is to provide and briefly introduce some intelligent systems in agricultural mechanization.

Keywords: Intelligent systems, agricultural mechanization, sensors, automatic modes, agricultural robotics.