نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

تحول در طرح ریزی عملیات ماشینی-زراعی با بهره‌گیری از مفهوم طراحی مسیر

رحمان گودرزی [۱*]، حسن صدرنیا [۲] و عباس روحانی [۲]

۱و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

ایمیل مکاتبه کننده: ra.goudarzi@um.ac.ir

چکیده

عدم تجهیز الگوهای مرسوم کاری به مکانیزم‌های جستجو برای یافتن کم‌هزینه‌ترین حالت پوشش مزرعه و از سویی عدم تناسب آنها در مزارع با اشکال نامنظم، و از طرف دیگر ارائه ماشین‌های زراعی مجهز به یکی از انواع سامانه‌های هدایت و راهبری که راهبرد پوشش مزرعه‌ای آنها متکی به اپراتور است؛ موجب افزایش تقاضا برای طراحی مسیرهای از پیش تعیین شده و بهینه شده است. طراحی مسیر پیش از ورود به محیط کشاورزی در حوزه رباتیک به گستردگی مورد مطالعه قرار گرفته است، اما با توجه به ماهیت محیط کشاورزی و عملیات‌های زراعی تفاوت‌هایی وجود دارد؛ از جمله پرهیز از حرکات تصادفیِ عامل سیار، عدم هم‌پوشانی مسیرها، لزوم تولید مسیرهای مستقیم یا منحنی ساده، و مفهوم طراحی مسیر آنلاین. در این مقاله سعی شده ضمن اشاره به قابلیت‌ها، معایب و رویکردهای تحقیقات مختلف، یک تقسیم‌بندی ارائه شود و مواردی برای پژوهش‌های بیشتر معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: رباتیک، طراحی مسیر، سامانه‌های هدایت و راهبری، ماشین‌های کشاورزی، الگوهای کاری

مقدمه

ابعاد، شکل مزرعه و الگوی کاری به شدت بر زمان‌های هدررفت، زمان کل عملیات و بازده ماشین‌های کشاورزی اثرگذار است(Bochtis, D. D. & Vougioukas, S. G, 2008). الگوهای مرسوم برای زمین‌های با پلات منظم و شکل هندسی متعارف، طراحی شده‌اند(مدرس رضوی، م، ۱۳۸۷). از طرف دیگر ماشین‌های زراعی مجهز به یکی از انواع سامانه‌های هدایت و راهبری، در تعیین راهبرد پوشش مزرعه، صرفاً متکی بر تجربه‌ی اپراتور هستند؛ و بهینگی مسیرهای طی شده را چندان مد نظر قرار نمی‌دهند؛ به خصوص وقتی شکل مزرعه نامنظم باشد(Hameed, I. A., 2013). هم‌چنین اضافه کردن محدودیت‌هایی تحت عنوان موانع درون مزرعه و نواحی دارای مسیرهای ممنوعه در مرزهای مزرعه، ارائه الگویی که ضمن پوشش ٪۱۰۰ مزرعه، بهینه بودن آن را تضمین کند، مشکل به نظر می‌رسد.

بنابراین به کمک روش‌های الگوریتمیک و رایانه‌ای و اعمال مکانیزم جستجو، تولید مسیرهای از پیش تعیین شده‌ی بهینه و دست‌یابی به الگوهای کاری نوین که تضمین کننده‌ی کاهش معیار مسافت‌های غیرمؤثر و بهبود بازدهی

عملیات باشد، و در نهایت رسیدن به یک طرح از پیش شکل‌یافته و قطعی، امکان‌پذیر می‌شود. به علاوه با طراحی مسیرهای از پیش تعیین شده، می‌توان از مزایای ارائه شده در ماشین‌های مجهز به یکی از انواع سامانه‌های هدایت و راهبری بهره برد(Hameed, I. A., 2013).

در نوشته‌ی پیش رو سعی شده است با مروری کوتاه، تا حد ممکن ساده و در برگیرنده رویکردها و نگاه‌های متفاوت مورد استفاده در این حوزه و ارائه‌ی یک تقسیم بندی هم‌چنین تا حد لازم شامل جزئیات، بر مؤثرترین تحقیقات در زمینه‌ی طراحی مسیر در محیط کشاورزی پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

طراحی مسیر

درک محققان در زمینه رباتیک از طراحی مسیر، یافتن مسیری از نقطه A به نقطه B است به طوریکه هیچ برخوردی با موانع اتفاق نیفتد و مسیر از هر جنبه خاص اندازه گیری بهینه باشد (Murphy, R., 2000).

موضوع طراحی مسیر، به طور گسترده ای در حوزه ی رباتیک مورد بررسی قرار گرفته است؛ به همین جهت به عنوان یک تعریف، طراحی مسیر در واقع تولید مسیرها یا منحنی‌های از پیش تعیین شده برای یک واحد سیار در یک فضای پیکربندی شده از نقطه‌ی آغاز تا نقطه‌ی پایان بدون برخورد به هیچ مانعی قابل تعریف است(Choset et al., 2005). در دهه‌های اخیر به جهت معرفی سیستم‌های خودراهبر، تقاضا برای تجهیز و طراحی مسیر برای این سیستم‌ها افزایش پیدا کرده است (Edwards, G. J. & Martin A. F,2007).

در رباتیک ، طراحی مسیر به دو بخش تقسیم شده است: هدایت کمی و کیفی . در نوع کیفی، محیط ساختاربندی می‌شود؛ به طوری که ربات بتواند نشانه گذاری‌ها را شناسایی و به پیش برود و با استفاده از آن‌ها یک مسیر را دنبال کند. در نوع کمی یا هدایت متریک ، یک نقشه دقیق، محیط را توصیف می‌کند و از هیچ نظری وابسته نیست (Murphy, R., 2000).

۱- طراحی مسیر در محیط کشاورزی-طراحی مسیر پوششی کامل

به دلیل ماهیت عملیات‌های زراعی، بسیاری از راهکارهای توسعه یافته در حوزه ی رباتیک مستقیماً به محیط کشاورزی قابل اطلاق نیست (Bochtis, D. D. & Oksanen, T., 2009). به عنوان مثال درک محققان در زمینه رباتیک از طراحی مسیر، یافتن مسیری از نقطه A به نقطه B است به طوریکه هیچ برخوردی با موانع اتفاق نیفتد(Murphy, R., 2000)، در حالی که در حوزه‌ی کشاورزی با توجه به ماهیت عملیات‌های زراعی، هدف تنها نمی‌تواند رفتن ماشین از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر باشد؛ بلکه پوشش ۱۰۰٪ با انگیزه‌ی افزایش بهره‌وری از واحد سطح، بسیار مهم به نظر می‌آید؛ ضمن اینکه باید تا حد ممکن از ترددهای غیرمؤثر و هم‌پوشانی و ایجاد نواحی کار نشده کاست. این جا نوع دیگری از طراحی مسیر، تحت عنوان طراحی مسیر پوششی معنا می‌یابد.

در طراحی مسیر پوششی در محیط کشاورزی، ضرورت‌های عملیات‌های زراعی از جمله وجود نوارهای کاری مستقیم (یا تولید مسیرهای ساده‌ی منحنی که به وسیله‌ی ماشین‌ها قابل دنبال کردن باشد)، ویژگی‌های توپوگرافی زمین، پرهیز از حرکات تصادفی برای اجرای عملیات به دلیل کاهش در هزینه‌های عملیاتی، در نظر گرفتن واحدهای پشتیبانی با توجه به این واقعیت که زمان کاری عملیات به شدت تحت تأثیر این ماشین‌هاست، باید لحاظ شود.

با توجه به روش‌های ارائه شده توسط محققان در زمینه‌های مختلف، سعی می‌شود بر اساس روش‌ها، رویکردها و راه‌حل‌ها یک تقسیم بندی کلی ارائه شود.

همه‌ی روش‌های مورد استفاده در محیط کشاورزی در گروه روش‌های کمی به حساب می‌آیند؛ چرا که در هیچ روشی نیاز به شناسایی محیط و به روزآوری داده‌های محیطی وجود ندارد؛ و فضای کار با استفاده از یک نقشه‌ی متریک که حاوی ابعاد و روابط توپوگرافی بین عوارض موجود در مزرعه باشد، توصیف می‌شود. در روش تقسیم بندی بر اساس نیاز ماشین به اطلاعات محیطی و شناخت محیط اطراف، الگوریتم‌ها و راهکارها را به دو گروه الگوریتم‌های آنلاین و آفلاین تقسیم‌بندی می‌کنند.

یکی دیگر از تفاوت‌های موجود در طراحی مسیر در محیط کشاورزی، برداشت و مفهوم طراحی مسیر آنلاین و آفلاین است.

به دلیل اینکه محیط‌های کشاورزی در مقایسه با محیط‌های پیچیده‌ی کاری ربات، در طول سالیان با تغییرات کمی همراه هستند، فرض می‌شود که این محیط‌ها شناخته شده است (Oksanen, T. & Visala, A., 2009). از این رو در محیط کشاورزی نیاز به راهکارهای محلی و مبتنی بر حس‌گرها و به روز آوری داده‌های محیطی برای درک موقعیت و شرایط ماشین، احساس نمی شود.

البته مفهوم طراحی مسیر آنلاین با آنچه که در زمینه رباتیک مطرح است؛ متفاوت است و می‌توان درک ماشین را از ناشناختگی محیط بدین صورت که در طرح‌ریزی عملیات‌ها وقتی داده‌های نرخ پراکندگی در دست نباشد بروز آوری مسیر به جهت کاهش اتلاف زمانی و هماهنگی بیش تر ماشین‌ها با توجه به ماهیت عملیات‌های زراعی، بیان کرد؛ نه اینکه ماشین نیاز به درک شرایط فیزیکی و تشخیص موانع و محدودیت‌ها دارند؛ این مفهوم در تحقیقات (Edwards, G. J. & Martin A. F., 2007) پیاده شده است.

۱-۱- رویکردهای بالا به پایین

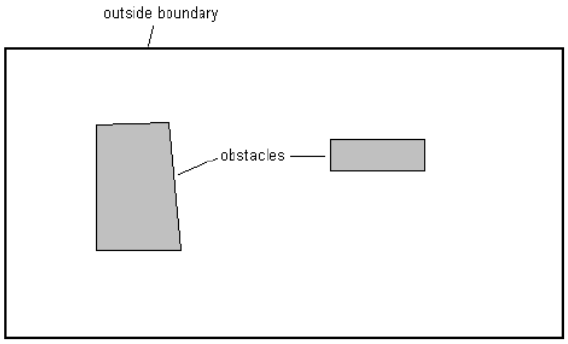
در این رویکرد، شکل مزرعه به نواحی ساده‌تر تقسیم شده و آن گاه با جستجوی مسیرهای بهینه در هر ناحیه اقدام به حل مسئله می‌شود (Oksanen, T. & Visala, A., 2009). در این روش ضمن تولید مسیرهای ساده، پوشش تمامی سطح تضمین می‌شود.

۱-۱-۱- تجزیه و ترکیب

تجزیه سلولی فضای آزاد، یکی از ابزارهایی است که در بسیاری از الگوریتم‌ها با رویکرد بالا به پایین و در روش‌های تجزیه و ترکیب به طور ضمنی و صریح از آن استفاده می‌کنند. در تجزیه سلولی، فضای کاری به چند ناحیه ساده شکسته شده که پوشش کامل را تضمین می‌کند(Oksanen, T. & Visala, A., 2009).

راهکارهای مبتنی بر تجزیه‌ی سلولی، با بهره‌گیری از یک مدل هندسی به عنوان فضای کار، شامل یک چند ضلعی نمایش دهنده‌ی سطح اصلی و مرزهای مزرعه و تعدادی چند ضلعی کوچک‌تر به عنوان موانع درونی مزرعه ، معمولاً با بهرگیری از راه‌کارهای الگوریتمیک مسئله‌ی طراحی مسیر را در چند فاز و با استفاده از یک تابع هزینه‌ی کنترل کننده‌ی بهینگی نتایج، حل می‌کنند.

برای ایجاد یک مدل هندسی از مزرعه، می‌توان آن را سطحی دو بعدی با یک مرز بیرونی و احیاناً تعدادی موانع درونی غیر قابل عبور فرض کرد که از طریق ساختار داده‌ای DCEL، یا "لیست اضلاع با اتصال دوگانه"، قابل ایجاد است؛ شکل (۱) نمونه ای از یک بیان هندسی از مزرعه است (Jin, J., 2009).



شکل ۱- یک توصیف صرفاً هندسی از مسئله‌ی طراحی مسیر، مبتنی بر روش‌های کمی
محیط و سطح مزرعه با یک چندضلعی بیرونی (محیطی) و موانع با چندضلعی‌های کوچکتر، تقریب شده است.

یکی از روش‌های تجزیه‌ی سلولی در مزارعی که دارای اشکال نامنظم و بعضاً تورفتگی و دارای برجستگی‌های متعددی باشند؛ تجزیه‌ی ذوزنقه‌ای است. هدف از تجزیه‌ی پلات مزرعه، تولید زیرنواحی با شکل ساده‌تر و تقعر کمتر است به نحوی که اجرای عملیات در آن تسهیل شود. در تحقیقات زیادی از این روش به عنوان یکی از فازهای اصلی الگوریتم در تولید نتایج بهینه، بهره بردند(Oksanen & Visala, 2009; Jin, 2009; Moon & Shim, 2009).

(Oksanen & Visala, 2009; Jin, 2009; Moon & Shim, 2009) همگی از راهکار تقسیم سطح مزرعه به نواحی کوچک‌تر بهره بردند؛ با این حال (Oksanen, T. & Visala, A., 2009) از روش تجزیه ذوزنقه‌ای دقیق، (Jin, J., 2009) از الگوریتمی که تمام راه‌های ممکن تقسیم مزرعه به دو ناحیه را در اختیار قرار دهد و (Moon, S. & Shim, D.H., 2009) از روش تجزیه‌ی سطح با استفاده از نقطه‌ی تقسیم بهره بردند.

برای تجزیه شکل مزرعه به نواحی کوچکتر در روش تجزیه‌ی ذوزنقه‌ای بدین صورت عمل می‌شود که از همه‌ی رأس‌ها روی پلیگون خارجی در یک جهت مشخص به همه‌ی اضلاع تصویر می‌شود، شکل (۲) گویای این مطلب است (Oksanen, T. & Visala, A., 2009).

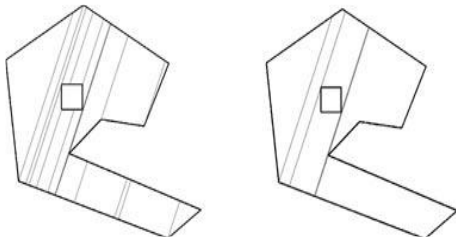
در بعضی از تحقیقات بعد از فاز تقسیم مزرعه، با اجرای فاز ترکیب تا حد ممکن و با استفاده از یک تابع کنترل، زیرنواحی ایجاد شده ترکیب می‌شوند، برای نمونه به کارهای (Oksanen, T. & Visala, A., 2009) می‌توان اشاره کرد؛ شکل (۲).

(Moon, S. & Shim, D. H., 2009) روش دیگری را در تجزیه‌ی سلولی، با استفاده از مفهوم"نقطه‌ی تقسیم" به کار بردند، برای تعیین این نقطه از یک تابع علامت استفاده می‌شود؛ معادله (۱):

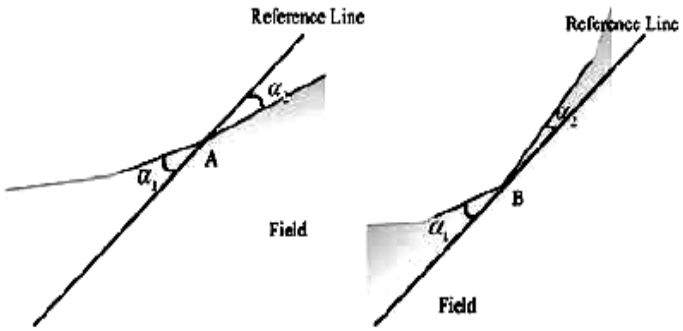
$$sign(\alpha 1) = -sign(\alpha 2) \qquad (۱)$$

که در اینجا α_1 و α_2 زوایایی است که دو پاره خط متقاطع و سازنده رأس مورد نظر با خط مرجع دارند.

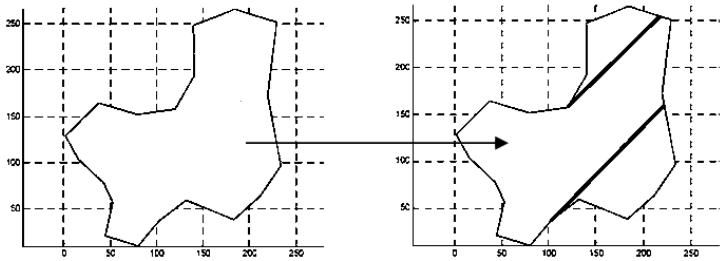
با وجود یک خط مرجع به عنوان خط پوشش و حرکت وسیله، اگر شرایط معادله فوق درست باشد؛ آن نقطه یک نقطه‌ی تقسیم خواهد بود. ایده‌ی این روش در شکل (۳) و (٤) بیان شده است.



شکل۲- یک مزرعه با برجستگی‌های متعدد و مانع داخلی. شکل سمت چپ حاصل اجرای فاز تکه‌سازی(تجزیه) و شکل سمت راست نتیجه‌ی فاز یکپارچه‌سازی(ترکیب) است.

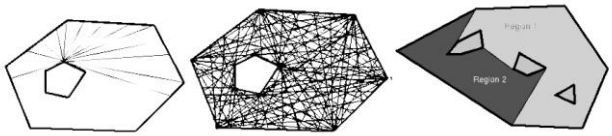


شکل ۳- تجزیه‌ی سطح با استفاده از مفهوم نقطه‌ی تقسیم. خط مرجع به عنوان جهت پوشش و نقاط A و B رأس‌هایی از مزرعه است.



شکل ٤- نتیجه‌ی حاصل از تقسیم مزرعه با استفاده از نقطه‌ی تقسیم.

(Jin, J., 2009) نیز به جهت سادگی مسیرهای مستقیم موازی برای دنبال کردن به وسیله‌ی ماشین‌های خود راهبر، از راهکار اساسی تعیین تمام شیوه‌های تقسیم مزرعه به تکه‌های کوچک‌تر و تعیین بهترین جهت اعمال مسیرها بهره برد؛ شکل (٥).



شکل ٥- تقسیم سطح مزرعه با استفاده از روش یافتن تمام راه‌های ممکن تقسیم یک ناحیه به دو زیر ناحیه.

۱-۲- رویکردهای پایین به بالا

در این رویکرد، رانندگی با دنبال کردن بعضی از اضلاع مزرعه آغاز شده، و بعد از ایجاد هر نوار، تمام راه‌های ممکن در طول یک افق پیش‌بینی معین شبیه‌سازی می‌شود، و بهترین توالی مسیرها با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی جستجو می‌شود (Oksanen, T. & Visala, A., 2009).

۱-۲-۱- روش‌های مبتنی بر گراف

در همین راستا و به عنوان اولین تلاش‌ها (Palmer et al., 1988) با استفاده از سامانه هدایتی توسعه یافته برای ماشین‌ها در دانشگاه رجینیا، تحقیقی را با هدف تولید خطوطی کارآمد اطراف یک مانع برای چنین سیستم‌هایی پی‌ریزی کردند. آنها با استفاده از نظریه گراف برای توصیف یک مانع و مسیرهای تولیدی، توانستند با توجه به پهنای مانع به عنوان معیار مهم تصمیم‌گیری، مسیرهای بهینه‌ای را برای اجرای عملیات اطراف موانع تولید کنند.

هم چنین (Palmer et al., 2003) با ثبت مختصات مسیرهای پیموده شده به وسیله ماشین‌های سمپاش در مزرعه به کمک سیستم‌های دقیق تعیین موقعیت، و سپس ارائه یک طرح جدید از چنین مسیرهای بهینه شده‌ای، نشان دادند مسافت کل پیموده شده برای پوشش کامل مزرعه تا ٪۱٦ و مقادیر نهاده‌های ورودی تا ٪۱۰ قابل کاهش است. به علاوه مسیرهای از پیش تعیین شده قادر به کاهش نواحی هم‌پوشیده و نواحی کار نشده بود.

۱-۲-۲- روش‌های مبتنی بر حل مسئله فروشنده ی دوره گرد (TSP)

گروهی با هدف یافتن کوتاه‌ترین تور در مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد، یک گراف وزن‌دار را که بیان کننده‌ی مسئله‌ی طراحی مسیر باشد؛ استفاده کردند، بدین صورت که یال‌های این گراف بیان کننده‌ی نوارهای کاری و متناظر با راه‌های واصل شهرهایی است که فروشنده قرار است از آن‌ها عبور کند، وزن‌های داده شده به این یال‌ها متناسب با هزینه‌ای است که این مسیر ارتباطی دارد؛ که می‌توان گفت در مسئله‌ی طراحی مسیر همان مسافت‌های غیرمؤثر لازم برای رفتن به سایر نوارهای کاری است (هزینه‌ی دور زدن‌ها) و گره‌های این گراف متناظر با نقاط انتهایی نوار یا در واقع "مشتری"ها در مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد است.

بنابراین در دسته‌ای از تحقیقات که مبنای کار خود را TSP قرار داده‌اند، فضای کار و جستجوی حل مسئله، یک گراف وزن‌دار با تعدادی گره و تعدادی یال متناظر با نوارهای کاری و هزینه‌ی انتقال بین نوارها خواهد بود.

این گراف با استفاده از یک توصیف مفصل و جزئی ریاضیاتی و با استفاده از ابتدائیات هندسه گسسته یعنی نقطه، خط و چندضلعی و به روش الگوریتمیک ایجاد می‌شود. در گام بعد با استفاده از یکی از روش‌های حل مسئله‌ی فروشنده دوره‌گرد و الگوریتم‌های یافتن کوتاه‌ترین مسیر، اقدام به جستجوی کوتاه‌ترین توالی از مسیرها می‌شود (Hameed, I. A., 2013).

با ترجمه‌ی مسئله‌ی طراحی مسیر درTSP، از اصطلاح مناسب‌تری تحت عنوان تعیین تور بهینه استفاده می‌شود. علت استفاده از این اصطلاح این است که در گراف متناظر مسئله، فروشنده بعد از عبور از همه‌ی شهرها ضمن پیمودن کوتاه‌ترین مسیر، به نقطه‌ی آغاز بازخواهد گشت، و در واقع در این جا، یک مسیر بسته‌ی پوششی، تحت نام تور بهینه مطرح است.

این نحوه‌ی ارائه از مزرعه دارای مزیت‌های زیادی است؛ از جمله اینکه بخش زیادی از فضا به طور قراردادی به صورت یک مدل بر روی این نقشه‌ها تنها با استفاده از تعداد کمی پارامترهای عددی، قابل عرضه بوده و از طرفی توانایی ذخیره‌ی داده با وضوح دلخواه را دارد (Hameed, I. A., 2013.).

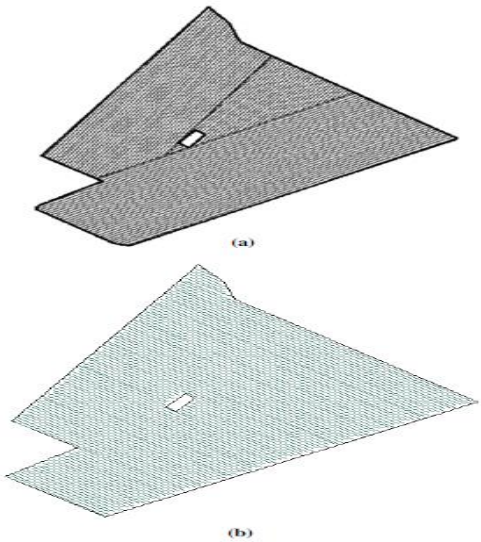
۱-۳- تابع هزینه و بهینه سازی

در تمام تحقیقات، هر کدام به نحوی از یک تابع کنترل کننده‌ی بهینگی نتایج استفاده شده است. با توجه به اینکه هدف از حل مسئله‌ی طراحی مسیر، تولید مسیرهایی است که مسافت غیرمؤثر پیموده شده با ماشین، کاهش یابد، تابع کنترل نیز می‌تواند برحسب مسافت یا زمان انجام عملیات باشد.

(Oksanen, T. & Visala, A., 2009)، برای تعیین بهترین بلوک (ترکیبی از چند زیرناحیه مجاور) ، از یک تابع هزینه‌ی غیر اختصاصی استفاده کردند؛ که دارای سه فاکتور سطح پوشش، مسافت پیموده شده درون مزرعه و بازدهی نسبی است. و به ترتیب به آنها وزن نسبی ٪۱۵، ٪۲۰ و ٪٦۵ اختصاص دادند.

به دلیل اهمیت ویژه‌ی بازدهی عملیات و رابطه‌ی معکوس آن با زمان کل عملیات، و با توجه به اینکه در طراحی مسیر دو بعدی مسافت کل پیموده شده در سطح درونی مزرعه (تقسیم سطح مزرعه به پهنای کار)، تقریباً ثابت است،

بنابراین هزینه‌ی کل پوشش تنها با هزینه‌ی دور زدن‌ها تعیین می‌شود. بنابراین باید از تعداد دور زدن‌ها و دور زدن‌هایی که هزینه‌ای به نسبت بالاتر دارند اجتناب شود، از این رو جین یک تابع هزینه را که نتیجه تحلیل انواع مختلف دور زدن است استفاده می کند که بر اساس مسافت پیموده شده در سرگاه‌ها و برای انواع روش‌های مختلف دور زدن است (Jin, J., 2009). شکل (٦) نمایش دهنده تفاوت راهکارهای مورد استفاده‌ی (Oksanen, T. & Visala, A., 2009) و (Jin, J., 2009) می‌باشد.



شکل٦- نتیجه پوشش سطح یک مزرعه با روش تجزیه و ترکیب، بالا: روش (Oksanen, T. & Visala, A., 2009) ، پایین: (Jin, J., 2009)

به کارگیری روش‌های ترکیبی بهینه‌سازی همراه با راهکارهای الگوریتمیک در تولید قطعه-پیمایش‌ها، در مسئله‌ی طراحی تور با هدف پوشش سطح به جای پیروی از الگوهای استاندارد و مرسوم از پیش تعیین شده، منجر به ارائه‌ی الگوهای B شده است. این الگوها با بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی ترکیبی، مجموعه‌ای از محدودیت‌های ماشینی را مد نظر قرار داده و در نهایت با بهینه کردن مسیرهای ممکن، بر مبنای نتایج گزارش شده؛ قادر به کاهش، تا حد ۵۰٪ (بسته به موارد خاصی) در مسافت‌های غیر موثر بوده و امکان بهبود ظرفیت مزرعه‌ای را تا مرز ۱۹٪ فراهم می‌کند. (Bochtis et al., 2013).

(Bakhtiari et al., 2012) از روشی الگوریتمیک مبتنی بر بهینه‌سازی متاهیوریستیک آنت-کلونی، برای تولید الگوهای B، استفاده کردند؛ بعد از ارائه‌ی گراف مزرعه، الگوریتم برای یافتن کوتاه‌ترین تور، بر روی دو مزرعه‌ی انتخاب شده اعمال شد؛ نتایج بیان‌گر موثر بودن روش بهینه‌سازی در تولید تورهای پوششی بهینه است. کاهش قابل‌ملاحظه‌ای را در مسافت غیرموثر پیموده شده، گزارش کردند.

(Edwards, G. J. & Martin A. F., 2007) با توجه به تاثیر قابل ملاحظه‌ی واحدهای حمل مواد بر بازدهی عملیات، و اینکه طراحی مسیر برای واحدهای حمل، در یک گروه از ماشین‌های در حال عملیات به علت لزوم در نظر گرفتن

خصوصیات داخل مزرعه و بین مزارع، به یک امر پیچیده بدل شده است، راهکارهایی را با هدف کمینه کردن زمان و مسافت پیموده شده و تولید مسیرهایی برای واحدهای حمل مواد، درون و بین مزارع ارائه کردند.

(Edwards, G. J. & Martin A. F., 2007) برای تعیین تور بهینه ، ابتدا ساختارهای لازم را برای سیستم پردازش‌گر جریان داده‌های اولیه از منابع مختلف ایجاد کرده، سپس با ورود داده‌ها ، مسیرهای مورد نظر با کمینه کردن معیار مسافت یا زمان پیموده شده ایجاد می‌گردد.

بحث و نتیجه‌گیری

در رویکردهای بالا به پایین و در روش تجزیه و ترکیب، نهایتاً راهبرد پوشش مزرعه به شکل نوارهای کاری ارائه می‌شود، اما اشاره‌ای به نحوه‌ی پیمایش این نوارها نمی‌شود (همان دیدی که در روش های مبتنی بر گراف وجود دارد)، و عموما محدودیت های زراعی یا عملیاتی مثل نقاط ورود و خروج از مزرعه، عملیات های بعد و قبل، کشت بعد، یا محدویت‌های توپوگرافی مثل شیب در نظر گرفته نمی‌شود (Jin, J., 2009)؛ در واقع در این رویکردها عمده تلاش‌ها، صرفاً یک بار حل مسئله بوده است.

در رویکردهای پایین به بالا و روش‌های مبتنی بر گراف دو گام اساسی وجود دارد؛ ابتدا راه‌ها و مسیرهایی، پیش‌تولید می‌شود؛ و سپس با اجرای فاز بهینه‌سازی و جستجوی کوتاه‌ترین توالی، اقدام به ارائه‌ی مسیرهای بهینه می‌شود؛ اما در تحقیقات ارائه شده در این زمینه، تولید مسیرها به عنوان یک گام اساسی و ورودی الگوریتم‌های بهینه‌سازی، بیش‌تر از اینکه نتیجه اعمال مکانیزم‌های جستجو باشد؛ از روش های ابداعی پیروی می‌شود. از این رو تلاش‌های بیش‌تری در این قسمت مورد نیاز است.

بنابراین راهکارهای ترکیبی نیز می‌تواند، بسیار مفید واقع شود، بدین صورت که می‌توان از تکنیک تجزیه‌ی سطح برای دستیابی به نواحی ساده‌تر و تضمین پوشش و کاهش نواحی هم‌پوشانی و کارنشده بهره برد و از راهکارهای مبتنی بر TSP، برای تولید توالی بهینه مسیرها با به کار بردن تکنیک‌های بهینه‌سازی استفاده کرد. به عنوان نمونه‌ای از این دست، به تحقیق بوکتیس و اکسانن (Bochtis, D. D. & Oksanen, T., 2009) می‌توان اشاره کرد.

به علاوه به نظر می‌رسد که در حیطه‌ی کشاورزی، نیاز به راه‌کارهای آنلاین با مفهوم آن در زمینه رباتیک، وجود ندارد. از طرفی راهکارهای ارائه شده مبتنی بر حل مسئله‌ی TSP، به دلیل اینکه به خوبی بعضی از جنبه‌های ضروری عملیات‌های زراعی را مد نظر قرار داده و وارد سطوح مصارف آنلاین شده، به نظر از قابلیت‌های بالایی، برخوردار است. به علاوه اشاره شد که هر روشی که بتواند مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد را حل کند، قابلیت حل مسئله‌ی طراحی مسیر را در راهکارهای مبتنی بر حل TSP، دارد، از این رو در این رویکرد، فضای کار برای بهبود نتایج و عرضه‌ی الگوهای بهینه‌تر وجود دارد. راهکارهای مبتنی بر تجزیه‌ی سلولی، هم چنان در مراحل مختلف، جهت کاهش فضای جستجو، تلاش می‌کنند. مزیت عمده این روش‌ها، تضمین پوشش ٪۱۰۰ سطح و اجتناب از هم پوشانی و عدم ایجاد نواحی کارنشده است. این مهم با بهره‌گیری از ابزارهای تقسیم سطح به زیرنواحی ساده‌تر، حاصل می‌شود.

دنبال کردن این مسیرها به عنوان یک طرح از پیش‌تعیین شده و نقشه‌ی حرکت، با هر وسیله‌ای که به یکی از انواع سیستم‌های کمک در هدایت و راهبری مجهز باشد امکان‌پذیر است. در واقع تولید چنین مسیرهای از پیش تعیین شده و وجود سامانه‌های موجود در امر هدایت و راهبری شامل سامانه‌های کمک در هدایت و راهبری، ماشین‌های با سامانه فرمان خودکار و ماشین‌های تمام خودکار، نقش تسهیل کنندگی و مکمل در اجرای اتوماسیون عملیات‌های زراعی و بهبود بازده ماشین‌های کشاورزی ایفا می‌کنند.

منابع و مآخذ

۱. مدرس رضوی، م.۱۳۸۷. مدیریت ماشین‌های کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

2. Bakhtiari, A. A. Navid, H. Mehri, J. & Bochtis, D. D. 2012. Optimal route planning of agricultural field operations using ant colony optimization .Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 13.
3. BOCHTIS, D. D. & OKSANEN, T. 2009. Combined coverage and path planning for field operations. In: Precision Agriculture, In: EJ van Henten, D. Goense, C. Lokhorst (Eds.), Proceedings of the 7th European conference on precision agriculture. p. 521-527.
4. BOCHTIS, D. D. Dionysis D. et al. 2013. Benefits from optimal route planning based on B-patterns. biosystems engineering. 115.4: 389-395.
5. BOCHTIS, D. D. VOUGIOUKAS, S. G. 2008. Minimizing the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. Biosystems engineering. 101.1: 1-12.
6. CHOSET, H. et al. 2005. Principles of robot motion: theory, algorithms, and implementations. MITPress, Boston.
7. EDWARDS, Gareth; JENSEN, Martin Andreas Falk. Real Time Optimisation of Field Coverage Route Planning with Limited Capacitance Machinery and Spatial Variability. In: CIOSTA XXXV Conference.
8. HAMEED, Ibrahim Abdel Fattah Abdel. Intelligent Behavior of Autonomous Vehicles in Outdoor. And no.: Technical Report ME-TR-2.
9. JIN, J. 2009. Optimal field coverage path planning on 2D and 3D surfaces.
10. MOON, Sang-Woo; SHIM, David Hyun-Chul. 2009. Study on path planning algorithms for unmanned agricultural helicopters in complex environment. International Journal of Aeronautical and Space Sciences. 10.2: 1-11.
11. MURPHY, R. 2000. Introduction to AI robotics. MIT press.
12. OKSANEN, T. VISALA, A. 2009. Coverage path planning algorithms for agricultural field machines. Journal of Field Robotics. 26.8: 651-668.
13. PALMER, R. J. WILD, D. RUNTZ, K. 2003. Improving the efficiency of field operations. Biosystems engineering. 84.3: 283-288.
14. PALMER, R. WILD, D. RUNTZ, K. 1988. Efficient path generation for field operations. Dept. of Computer Science, University of Regina.

Advancement in operations planning for agricultural field machines utilizing path planning concept

Abstract

The traditional field work patterns are not equipped with search mechanism in order to find an optimal pattern. On the other hand, the traditional patterns are not suitable for fields with irregular shapes. Further, the field coverage strategy of modern field machines that equipped with navigation systems is reliant on the operator. These factors together result demand of optimal and pre-determined paths. Path planning problem has been extensively studied in robotics. But, in accordance with the nature of the agricultural environment and field operations, some differences exist; such as preventing randomized movements of mobile unit, paths with no overlap and skip, necessity of generation of straight or simple curved paths and the concept of online path planning. Attempts have been made in this study to explore the potentiality, weaknesses and various researches perspectives so that a new typology is achieved, and suggestions for future research addressed.

Keywords: robotics, path planning, navigation systems, agricultural machines, field work patterns