dr hab. inż. Tadeusz PAWŁOWSKI, dr Ryszard GRZECHOWIAK
Sieć Badawcza Łukasiewicz - Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
e-mail: tadeusz.pawlowski@pimr.lukasiewicz.gov.pl

data przyjęcia: 2021-07-05 ; data akceptacji: 2021-07-19

KIERUNKI ZASTOSOWAŃ METOD WIZYJNYCH W DOTYCHCZASOWYCH PRACACH SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ - PRZEMYSŁOWEGO INSTYTUTU MASZYN ROLNICZYCH. CZĘŚĆ 2.

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki prac związanych z rozpoznawaniem i analizą obrazu na potrzeby oceny zdrowotności upraw polowych, oceny jakości i równomierności siewu oraz automatyzacji ruchu pojazdów autonomicznych. Opisano algorytmy stosowane do oceny obrazów z użyciem sztucznej inteligencji oraz zastosowaną aparaturę.
***Słowa kluczowe**: analiza obrazu, pojazdy autonomiczne, ocena zdrowotności roślin, równomierność wysiewu*

Zliczanie ziarna za pomocą metod rozpoznawania obrazu w badaniach siewu

Do przeprowadzenia precyzyjnych badań laboratoryjnych jakości wysiewu różnych aparatów wysiewających opracowano specjalne stanowisko badawcze, wyposażone w siewnik z napędem elektrycznym oraz układem sterowania i kontroli (rys. 1). Przenośnik taśmowy symuluje przemieszczanie się maszyny względem podłoża. Nad taśmą transportową umieszczono kamerę. Stanowisko badawcze wyposażono również w oświetlenie wspomagające pracę kamery [3].

Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 1. Stanowisko do badania jakoœci wysiewu
Fig. 1. Test station for seeding quality

Płynnie regulowana prędkość przesuwania się taśmy jest kontrolowana za pomocą enkodera impulsowego, którego zadaniem jest również wyzwalanie kamery rejestrującej kolejne fragmenty taśmy z wysianymi nasionami. Sercem układu jest moduł MicroDAQ, który łączy w sobie właściwości karty kontrolno-pomiarowej z możliwością przetwarzania danych w czasie rzeczywistym, przy użyciu procesora DSP. Moduł obsługiwany jest z poziomu oprogramowania narzędziowego Matlab-Simulink. Wejścia oraz wyjścia modułu reprezentowane są przez tzw. instrumenty wirtualne. Do wejść pomiarowych modułu dołączone są czujniki zamontowane na stanowisku. Układ prowadzi na bieżąco odczyt z tych wejść, przetwarza odczytane dane, prezentuje wyniki na wirtualnym panelu oraz wpływa w określony sposób na przebieg samego procesu, wysyłając odpowiednie sygnały sterujące do urządzeń wykonawczych. Sterowanie laboratoryjnym stanowiskiem badania siewników odbywa się za pomocą środowiska SIMULINK.

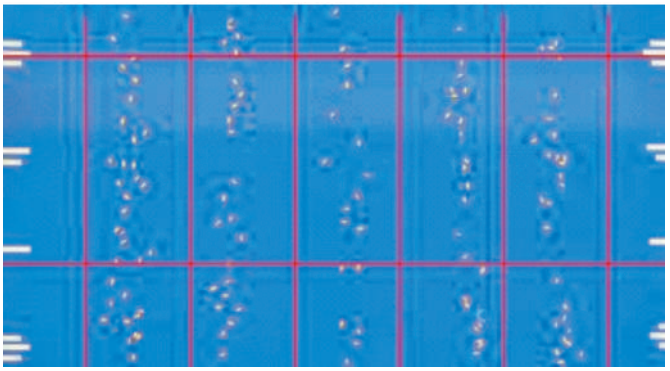
Analiza obrazu, mająca na celu zliczenie ziaren znajdujących się na taśmie przenośnika, odbywała się za pomocą środowiska Matlab. Po wyodrębnieniu obszaru pomiarowego oraz odpowiednim przekształceniu obrazu w celu ujednoliceniu tła, przeprowadza się binaryzację, czyli przekształcenie aktualnego rysunku na obraz czarno-biały. Służy do tego funkcja *im2bw*, która przekształca obraz intensywnościowy, indeksowy lub RGB na obraz binarny. Wynikowy obraz binarny (BW) zawiera elementy 0 (czarny) dla wszystkich pikseli, których wartość w macierzy wejściowej była mniejsza niż „*level*" i elementy 1 (biały) dla pozostałych pikseli. Ziarna położone blisko siebie na taśmie transportowej mogą być uznane przez program zliczający za jeden obiekt. W celu uniknięcia tego błędu za pomocą funkcji *imerode* przeprowadzana jest operacja „erozji", dzięki której obszary połączone wąskim przesmykiem mogą zostać rozdzielone (rys. 2).

Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 2. W wyniku działania funkcji "imerode („erozji") obraz leżących blisko siebie ziaren został rozdzielony
Fig. As a result of the "imerode" function, the image of the grains which lie close to each other has been separated

Kolejno, za pomocą funkcji *bwconncomp*, następuje wyodrębnienie obiektów znajdujących się na przetworzonym obrazie. W wyniku jej działania powstaje zmienna (strukturalna) zawierająca m.in. opis wykrytych obiektów w postaci wektorów, zawierających współrzędne pikseli należących do poszczególnych obiektów. Dodatkowe własności wykrytych

obiektów można uzyskać za pomocą np. funkcji *regionprops* (m.in. liczba pikseli należących do poszczególnych obiektów, takich jak powierzchnia obiektów, współrzędne środka „ciężkości" obiektów, średnice okręgów o powierzchniach równych powierzchni poszczególnych obiektów, współrzędne prostokątów opisujących wykryte obiekty). Okazuje się, że bezpośrednio po wykonaniu tej operacji program - oprócz ziarna - wykrywa dodatkowe obiekty. Jest to spowodowane zaszumieniem tła obrazu, np. pojawieniem się w pobliżu brzegu ziarna małych oderwanych obiektów, znacznie mniejszych od właściwych ziaren. Dlatego też wykonywana jest eliminacja małych obiektów. Po zakończeniu działań mających na celu przetworzenie obrazu ziaren i likwidację zakłóceń, funkcja *bwconncomp* wykrywa rzeczywistą liczbę obiektów. W zależności od potrzeb można prowadzić dalszą analizę rozmieszczenia lub własności ziaren, korzystając z własności podawanych przez funkcje *bwconncomp* i *regionprops*. Na rys. 3 przedstawiono wyjściowy, nieprzetworzony obraz sfotografowanych nasion na taśmie.



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

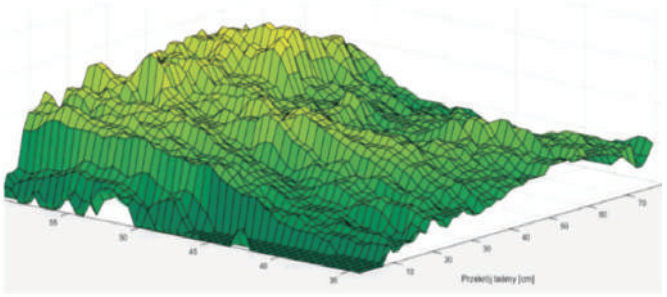
Rys. 3. Nasiona na przenośniku stanowiska badawczego z widocznymi obszarami zliczania ziarna
Fig. 3. Seeds on the test bench conveyor with visible grain counting areas

Niestety przedstawiona metoda, obok licznych zalet, ma także istotne wady. Należy do nich przede wszystkim duża wrażliwość na warunki oświetlenia. Jest to szczególnie dokuczliwe w przypadku badania wysiewu ziaren o małych rozmiarach, jak nasiona rzepaku. Trudności te można opanować przez odpowiednie oświetlenie taśmy, dobór jej koloru, rodzaju i faktury oraz rodzaju kleju, który służy do zablokowania ziaren na taśmie.

Podbieracz do siana pomiar ilości zebranego siana

W ramach realizacji projektu zgrabiarki podbieraczowo-taśmowej (POIR.04.01.04-00-0048/1) przez firmę SAMASZ Sp. z o.o., w Łukasiewicz - PIMR opracowano koncepcję pomiaru objętości pokosu na przenośniku zgrabiarki [2]. Opracowany układ pomiarowy umożliwia sprawdzanie ilości materiału na taśmie, co pozwala na automatyczne dobieranie prędkości zespołów roboczych oraz w połączeniu z urządzeniem GPS wygenerowanie mapy plonów. Wyniki rejestrowane są w pamięci wewnętrznej sterownika lub na zewnętrznym dysku USB. Dla potrzeb realizacji zadania zbudowano stanowisko pomiarowe wyposażone w skanery 3D. Kamera odczytywała i rejestrowała średnią wysokość pokosu w osi "z" dla każdego prostokąta pomiarowego. Następnie obliczano pole przekroju, a po uwzględnieniu aktualnej prędkości taśmy - objętość materiału.

Informacje uzyskane ze skanera 3D przedstawiono na rys. 4. Stwierdzono, że charakter wykresu jest zbliżony do rzeczywistego kształtu materiału na taśmie. Wykorzystanie maksymalnej rozdzielczości pomiaru pozwala na stosunkowo dokładne odwzorowanie nawet bardzo nieregularnych powierzchni pokosu.



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 4. Obraz pokosu uzyskany z systemu pomiarowego za pomocą skanera 3D
Fig. 4. Swath image obtained with a 3D scanner from a measuring system

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie optycznych kamer 3D do pomiaru ilości zbieranego siana jest korzystnym rozwiązaniem. Proponowany układ spełnia warunki dokładności i powtarzalności pomiarów. Dodatkowo cechuje się stosunkowo prostą eksploatacją.

Autonomiczny robot do siewu i sadzenia

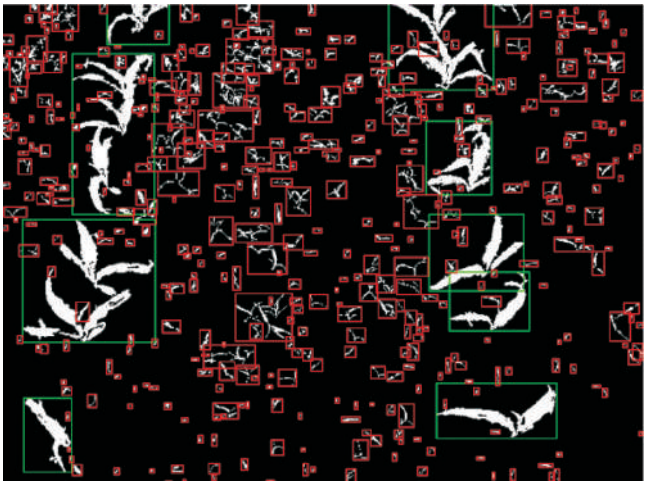
Prace związane z autonomicznym robotem rolniczym prowadzono w ramach projektu NCBiR nr PBS3/B9/32/2015, pt. „Autonomiczny robot do siewu i sadzenia w szerokim rzędzie", który był realizowany przez konsorcjum w składzie**:** Wydział Mechaniczny Politechniki Warszawskiej, firma PROMAR sp. z o.o. z Poznania oraz Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, jako lider konsorcjum. Na potrzeby sterowania autonomicznego opracowano struktury i procedury działania robota. Pracę robota w zakresie procesów trakcyjnych i agronomicznych zrealizowano na podstawie danych z wielu detektorów (kamer, czujników położenia, odległości i innych). Pozytywne wyniki testów pozwolą na zastosowanie robota w uprawach ekologicznych, wymagających mechanicznego usuwania chwastów lub w uprawach z selektywnym zastosowaniem płynnych agrochemikaliów. Zastosowanie systemu wizyjnego opartego na określeniu współrzędnych położenia wysiewanych nasion. pozwala na ich pielęgnację na wczesnym etapie rozwoju rośliny. Możliwość zastosowania robota do uciążliwych prac w rolnictwie ekologicznym może zachęcić rolników do ograniczenia stosowania herbicydów w uprawach, takich jak buraki cukrowe, kukurydza itp. [1, 4].

W przeciwieństwie do robotów przemysłowych, funkcjonujących w środowisku kontrolowanym i ustrukturyzowanym, środowisko pracy robotów w rolnictwie jest stosunkowo nieuporządkowane, nieprzewidywalne i dynamiczne. Inteligentna i odporna na uszkodzenia architektura sterowania jest niezbędna do zapewnienia bezpiecznego i pożądanego działania. Do obsługi systemu wizyjnego i układu nawigacji został wykorzystany sterownik przemysłowy IC-3173 firmy National Instruments, umożliwiający budowę układów sterowania poprzez podłączenie kamer i innych urządzeń sterujących. Sterownik jest wyposażony w układ FPGA, pozwalający na implementację szybkich algorytmów sterowania i jest programowany w systemie LabVIEW. Do obsługi wizji użyto trzech kamer przemysłowych Basler o wysokiej rozdzielczości, z możliwością zdalnego wyzwalania zdjęć. Na rys. 5 przedstawiono dwie kamery zamocowane na konstrukcji robota.

Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 5. Kamery zamontowane na konstrukcji robota
Fig. 5. Cameras mounted on the robot's design

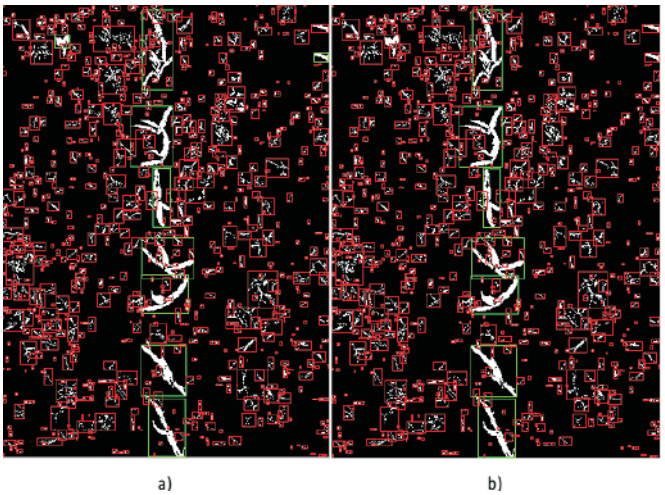
Stworzono algorytm do rozróżniania roślin uprawnych i chwastów. Działanie algorytmu można podzielić na następujące części: wykrycie roślin uprawnych znajdujących się na zdjęciu, wykrycie chwastów znajdujących się na zdjęciu, wygenerowanie obrazu przedstawiającego podział roślin na dwie grupy (rys. 6), przedstawienie obrazu z zaznaczoną linią, wskazującą trajektorię ruchu, klasyfikację roślin na podstawie odległości od prostej



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 6. Obraz przedstawiający podział obiektów znajdujących się na zdjęciu na chwasty (zaznaczone czerwonymi prostokątami) i rośliny uprawne (zaznaczone zielonymi prostokątami)
Fig. 6. Image of the division of the objects in the photo into weeds (marked with red rectangles) and cultivated plants (marked with green rectangles)

W pierwszej części algorytmu następuje identyfikacja roślin uprawnych oraz obróbka obrazu w celu usunięcia z niego chwastów. Wykorzystano różne przekształcenia punktowe i morfologiczne obrazu (otwarcie, erozja, dylatacja, etykietyzacja, wykonywanie pomiarów na obiektach). Otrzymuje się w ten sposób obraz binarny ze wstępnie wykrytymi roślinami uprawnymi. W drugiej części algorytmu identyfikuje się chwasty oraz przeprowadza się dalszą obróbkę obrazu, mającą na celu usunięcie roślin uprawnych. W efekcie uzyskuje się obraz binarny z wykrytymi chwastami. W części trzeciej następuje nałożenie na siebie obrazów powstałych w części pierwszej i drugiej. Obraz końcowy reprezentuje rośliny wstępnie podzielone na dwie kategorie. Część czwarta polega na zmierzeniu położenia środków geometrycznych prostokątów wskazujących na rośliny i wyznaczeniu na ich podstawie linii aproksymowanej do prostej. Linia ta może być użyta przy wyznaczaniu trajektorii ruchu narzędzia pielnika. Ostatnia część algorytmu polega na klasyfikacji roślin na podstawie odległości pomiędzy nimi a prostą. Operacja ta opiera się na pomiarze najmniejszej odległości między linią a każdym ze środków geometrycznych. Efektem końcowym jest obraz z lepiej sklasyfikowanymi obiektami (rys. 7).



Źródło: opracowanie własne / Source: own study

Rys. 7. Obrazy przedstawiające klasyfikację obiektów. Od strony lewej: obraz przed zastosowaniem dodatkowej klasyfikacji na podstawie odległości, obraz po wprowadzeniu dodatkowej klasyfikacji
Fig. 7. Images showing the classification of objects. From left: image before applying additional classification based on distance, image after entering additional classification

System jest w stanie poprawnie odróżnić (ze skutecznością 80-90%) rośliny, które wyrosły minimum 2-3 tygodnie od zasiewu (w zależności od typu rośliny), co nie ustępuje skutecznością od innych systemów identyfikacji roślin. Przeprowadzone testy polegały na wykonaniu pielenia obszaru dookoła poprawnie zidentyfikowanej rośliny uprawnej. System działał prawidłowo pod warunkiem zachowania marginesu bezpieczeństwa dla rośliny - minimum 5 cm. Pozostawione wewnątrz okręgu nieusunięte chwasty stanowią akceptowalny margines wynoszący od 10 do 20%.

Zakończenie

Przeprowadzona w ramach opisanych prac analiza problemu wykrywania i rozpoznawania obszarów specjalnych na obrazach pól uprawnych wskazuje na istnienie wielu metod i algorytmów selekcji i klasyfikacji obiektów powierzchniowych w wielowymiarowych obrazach pól rolniczych o różnej rozdzielczości przestrzennej. Stwierdzono jednak, że bezpośrednie zastosowanie którejkolwiek z istniejących metod nie zapewnia pełnego rozwiązania problemu wykrywania i klasyfikacji pokrycia gruntów rolnych i w związku z tym konieczne są dalsze prace doskonalące.

Bibliografia

[1] Jasiński M., Mączak J., Radkowski S., Rogacki R., Mac J., Szczepaniak J., Pawłowski T.: Autonomous agricultural robot initial assumptions of project. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów. Proceedings of the Institute of Vehicles, 2015, 2(102).
[2] Rogacki R., Grzechowiak R., Wojciechowski J.,

Ciechanowski M., Maleszka M.: Typoszereg aktywnych zgrabiarek podbieraczowo-taśmowych z mechatronicznym systemem sterowania zespołami roboczymi i rejestracją plonu. Zadanie: Budowa stanowiska do sprawdzania objętości pokosu zbieranego przez zgrabiarkę podbieraczowo-taśmową. PIMR 2017, (maszynopis).
[3] Rogacki R., Maleszka M., Grzechowiak R., Kromulski J., Mac J.: Nowe techniki komputerowego wspomagania projektowania badań symulacyjnych i empirycznych maszyn rolniczych. Et. 1. Badania weryfikacyjne i dostrojenie algorytmu korekcyjnego sterującego napędem dozowników nasion przy siewie rzędowym w zmiennych warunkach eksploatacyjnych. PIMR 2015, (maszynopis).
[4] Raport z realizacji projektu: Autonomiczny robot do siewu i sadzenia. PIMR, Politechnika Warszawska, PROMAR 2019, (maszynopis).

DIRECTIONS OF VISION METHODS APPLICATION IN THE WORKS TO DATE ŁUKASIEWICZ RESEARCH NETWORK - INDUSTRIAL INSTITUTE OF AGRICULTURAL ENGINEERING. PART 2.

Summary

The article presents the results of work related to image analysis for the purposes of assessing the health of field crops, assessing the quality and uniformity of sowing, and automating the movement of autonomous vehicles. The algorithms used to evaluate images using artificial intelligence are described. The apparatus used was also presented.
Key words*: image analysis, autonomous vehicles, assessing the health of field crops, uniformity of sowing*