OPEN ACCESS

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Patryk KRYSZTOFORSKI[1], Adam KLEDZIK[2], Piotr GÓRAL[3], Paweł PAWŁOWSKI[4]

ORCID: [3]0000-0001-8999-693X, [4]0000-0001-5373-5148

DOI: 10.15199/48.2025.11.22

Lokalizacja wizyjna autonomicznego ciągnika sadowniczego w zadanym środowisku

Vision localization of an autonomous orchard tractor in a given environment

[1] inż. Patryk Krysztoforski, Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań

[2] inż. Adam Kledzik, Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań

[3] dr inż. Piotr Góral, Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań, e-mail: piotr.goral@put.poznan.pl

[4] dr inż. Paweł Pawłowski, Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań, e-mail: pawel.pawlowski@put.poznan.pl

Adres do korespondencji: piotr.goral@put.poznan.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono propozycję nawigacji wizyjnej dla zautomatyzowanego ciągnika sadowniczego, poruszającego się na plantacji sadowniczej. Opracowano algorytmy umożliwiające autonomiczną jazdę miedzy rzędami drzew, wykonywanie nawrotów i detekcję przeszkód na podstawie sygnału z kamery czołowej umieszczonej na kabinie ciągnika. Wydajne oprogramowanie zapewniło poprawne działanie algorytmów zarówno w dzień, jak i w nocy. Testy w środowisku rzeczywistym potwierdziły zakładaną dokładność nawigacji do realizacji przyjętych zadań.

Słowa kluczowe: autonomiczny ciągnik, system wizyjny, przetwarzanie obrazu, ogrodnictwo 4.0

Abstract: The article presents a proposal for vision navigation for an automated orchard tractor moving on an orchard plantation. Algorithms were developed that enable autonomous driving between tree rows, making U-turns, and detecting obstacles based on the signal from the front camera placed on the tractor cabin. Efficient software ensured the correct operation of the algorithms both during the day and at night. Tests in a real environment confirmed the assumed accuracy of navigation for the implementation of the adopted tasks.

Keywords: autonomous tractor, vision system, image processing, gardening 4.0

Wstęp

Wzrost liczby ludności na świecie powoduje rosnące zapotrzebowanie na żywność, co sprawia, że rolnictwo staje się jednym z kluczowych sektorów gospodarki. Automatyzacja w nowoczesnym rolnictwie pozwala na zwiększenie efektywności upraw oraz redukcję wpływu szkodliwych substancji, takich jak pestycydy, na zdrowie ludzi. Wprowadzenie autonomicznych pojazdów do prac w sadownictwie otwiera nowe możliwości optymalizacji procesów uprawowych, zmniejszając, a nawet eliminując konieczność ciągłej obecności operatora [1].

Jednym z głównych wyzwań w tym obszarze jest nawigacja wizyjna autonomicznego pojazdu poruszającego się między rzędami drzew owocowych [2]. Wymaga ona zarówno precyzyjnego wykrywania ścieżek, jak i skutecznej detekcji przeszkód, które mogą pojawić się na trasie [3]. Nowoczesne systemy wizyjne, wykorzystujące kamery różnych typów oraz zaawansowane algorytmy analizy obrazu [4], umożliwiają autonomicznym pojazdom nawigację w zmiennych warunkach oświetleniowych, zarówno w dzień, jak i w nocy [5].

W artykule przedstawiono opracowany system nawigacji wizyjnej dla pojazdu autonomicznego typu zautomatyzowany ciągnik przeznaczonego do pracy w sadownictwie. System ten wpisuje się obszar Ogrodnictwa 4.0 [6]. Omówiono zastosowane algorytmy analizy obrazu, wykrywania przeszkód oraz wykonywania nawrotów. Badania przeprowadzono na podstawie nagrań uzyskanych z rzeczywistych warunków pracy pojazdu, co pozwoliło na realną ocenę skuteczności opracowanego systemu.

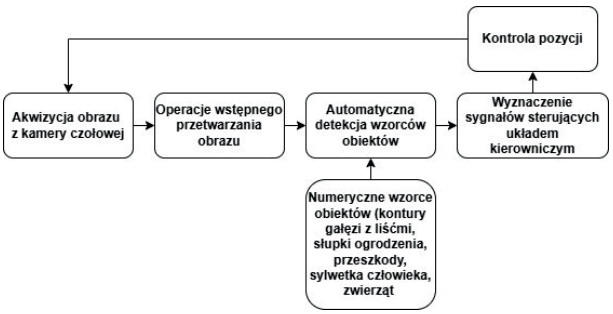
Zautomatyzowany ciągnik sadowniczy z systemem wizyjnym

Z szerokiej gamy istniejących marek i modeli ciągników użytkowanych w gospodarstwach sadowniczych wybrano do modernizacji model Ursusa C-4011, charakteryzujący się mechaniczną prostotą budowy. Mimo że produkcję tego modelu, wraz z fazami rozwojowymi, Ursus C-355, Ursus C-360, Ursus C-360-3P zakończono w 1993, to ich liczba w Polsce wciąż stanowi ponad połowę użytkowanych ciągników. Ten typ ciągników posiada instalacje elektryczną o nominalnym napięciu 12 V, która wykorzystana została do zasilania układu sterowania oraz systemu wizyjnego z którego pozyskane sygnały umożliwiły sterowanie zautomatyzowanym układem kierowniczym. Sygnał uzyskany z systemu wizyjnego został poddany automatycznej analizie za pomocą dedykowanych algorytmów wyodrębniających wzorce obiektów.

System wizyjnej nawigacji

System wizyjny opracowany został z uwzględnieniem możliwości nawigowania ciągnikiem w porze dziennej i nocnej. Schemat blokowy (rys. 1) przedstawia koncepcję działania opracowanych algorytmów. Dla potrzeby nawigacji pojazdu w środowisku rzeczywistym (plantacja sadownicza) wyodrębnione zostały konieczne scenariusze, dla których opracowane zostały algorytmy zapewniające ciągłe poruszanie się ciągnika w obrębie plantacji z uwzględnieniem potencjalnie mogących pojawiać się przeszkód na trasie przejazdu. Akwizycja obrazu dokonywana jest za pomocą kamery umieszczonej na kabinie ciągnika (rys. 2).

Obraz po akwizycji zostaje poddany operacją wstępnego przetwarzania [7, 8]. W pierwszej kolejności następuje zmiana obrazu kolorowego do skali odcieni szarości w celu ułatwienia wykrycia konturów przez przyjęte metody [9]. Następnie usuwane są szumy i realizowanie jest progowanie. Kolejnym etapem jest operacja morfologiczna typu zamknięcie, która ma na celu „zamknięcie" krawędzi w celu ułatwienia uchwycenia jednolitego zamkniętego kon-



Rys. 1. Schemat blokowy systemu wizyjnego nawigującego pojazdem autonomicznym (ciągnikiem rolniczym)

Rys. 2. Widok kamery czołowej przymocowanej do kabiny ciągni

turu. Dodatkowo w celu poprawienia rezultatów oraz ograniczenia potrzeby dodawania dodatkowych warunków lub większej liczby operacji, wykluczany jest obszar, który nie będzie poddawany operacją przetwarzania. Następnie realizowana jest automatyczna detekcja obiektów na podstawie zdefiniowanych wzorców, co pozwala na wyznaczanie sygnałów sterujących układem kierowniczym ciągnika. Kontrola pozycji realizowana jest poprzez akwizycję kolejnych obrazów z nowym obszarem do analizy i ewentualnych korekt.

Realizacja programowa zadania nawigacji

Dla projektowanego systemu nawigacji wyodrębniono trzy zadania szczegółowe: nawigacja ciągnika w obszarze międzyrzędów sadowniczych, wykonywanie przejazdów miedzy rzędami (nawrotów) oraz detekcja obiektów mogących pojawić się na trasie przejazdu. Przyjęto, że system nawigacji powinien umożliwiać realizację założonych zadań zarówno w porze dziennej jak i nocnej (rys. 2). We wszystkich zadaniach należało wyodrębnić cechy charakterystyczne obiektów otoczenia i wyznaczyć ich wzorce.

Nawigacja w międzyrzędach w porze dziennej wykorzystała widoczność nieba w tle konturów drzew. Po wyodrębnieniu obszaru zainteresowania i przekształceniu obrazu na skalę szarości dokonywana jest progowanie adaptacyjne. Następnie algorytm znajduje największy kontur będący tłem nieba na horyzoncie [10]. Wyodrębnianie tego konturu pozwala na wyznaczenie środkowej linii będącej zadaną trajektorią jazdy między rzędami drzew (rys.3) [11].

Nawigacja między rzędami drzew w porze nocnej została zrealizowana poprzez detekcję krawędzi odzwierciedlających gałęzie z liśćmi wzdłuż drogi przejazdu po prawej i lewej stronie. Po odpowiedniej filtracji obrazu polegającej na usunięciu z obrazu obszarów zakłócających i programowym wyodrębnieniu

pożądanych obiektów wyznaczany obszar wskazujący drogę między rzędami drzew (rys. 4).

Przejazdy miedzy alejkami drzew owocowych, tj. nawroty na końcach rzędów w porze dziennej, zostały zrealizowane poprzez programowe odfiltrowanie obiektów znajdujących się w polu widzenia kamery: ogrodzenia – siatki, budynków mieszkalnych i innych obiektów (rys. 5). Skręt w prawo lub lewo następuje, gdy przestają być wykrywane kontury gałęzi liśćmi a wykrywane są słupki podtrzymujące ogrodzenie. Następnie pojazd porusza się według reguł jak w zadaniu jazdy między rzędami drzew z tą różnicą, że z jednej strony zamiast drzew punktem odniesienia do wyznaczania pozycji środkowej są słupki ogrodzenia. W przypadku przejazdów z jednego międzyrzędzia w kolejne, skręt następuje według przyjętego programowego scenariusza nawigacji wspomaganego wykrywaniem z prawej lub lewej strony konturów gałęzi oraz elementów ogrodzenia.

Manewr przejazdu miedzy rzędami drzew i nawroty w porze nocnej zostały zrealizowane w następujący sposób: obraz został podzielony na 20 kolumn o stałej szerokości, a następnie w każdej z wydzielonych kolumn obliczana była liczba wykrywanych krawędzi będących konturami gałęzi. Gdy w kolejnych kolumnach obrazu przestają być wykrywane kontury i ich liczba spada do zera, świadczy to o dojechaniu do końca rzędu drzew. Wówczas realizowany jest manewr skrętu do momentu ponownego wykrycia konturów gałęzi lub słupków ogrodzenia (rys. 6).

Wizyjna detekcja przeszkód

Podczas nawigowania ciągnika autonomicznego na plantacji sadowniczej (środowisko rzeczywiste) istnieje ryzyko, nawet przy stosowaniu procedur szczególnego bezpieczeństwa, nieuprawnionego wtargnięcia na trasę przejazdu człowieka, najazd na pozostawione obiekty -przeszkody lub zwierzęta. W celu uniknięciu sytuacji potencjalnie niebezpiecznych trzecim przyjętym zadaniem opracowywanego systemu jest detekcja ludzi, obiektów i zwierząt.

Wykrywanie sylwetki człowieka działa zarówno w porze dziennej jak i nocnej (rys. 7 i 8). Po wykryciu krawędzi potencjalnej sylwetki obliczane są proporcje obiektu. Gdy są one w doświadczalnie ustalonym zakresie uruchamiana jest procedura nagłego zatrzymania poruszającego się ciągnika.

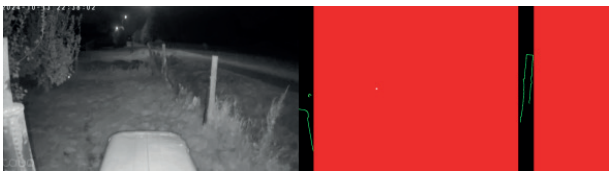
Na rysunku 8 przedstawiono obraz pozyskany w porze dziennej z wynikiem detekcji przeszkody na trasie przejazdu. Algorytm detekcji przeszkód po wykryciu obiektu (drewnianej paleta) dodatkowo wyznacza pomocniczy obszar, którego programowa analiza

Rys. 3. Obrazy testowe: przejazd w międzyrzędzie

Rys. 4. Nawigacja w międzyrzędzie w dzień

Rys. 5. Nawigacja w międzyrzędzie w nocy

Rys. 6. Manewr skrętu w prawo – detekcja słupka ogrodzenia

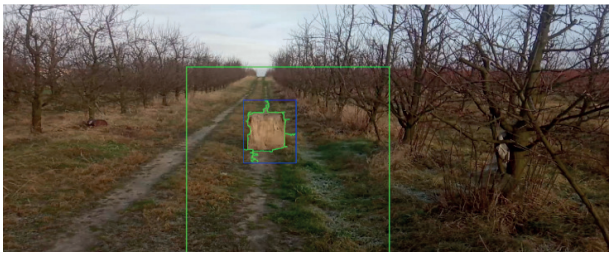


Rys. 7. Obraz wejściowy i wynikowy z wyodrębnioną kolumną do realizacji manewru skrętu w lewo

pozwala na wykonanie manewru ominięcia przeszkody. Algorytm sterujący wykonuje taki manewr jeśli w wydzielonym obszarze (zielnego prostokąta) nie znajdują się inne przeszkody lub drzewa sadownicze.

Podobne procedury bezpieczeństwa stosowane są przy wykryciu zwierząt na trasie nawigacji (rys. 9) z dodaniem przedziału czasowego po zatrzymaniu ciągnika na samodzielne ustąpienia zwierzęcia.

Rys. 8. Wynik detekcji sylwetki człowieka w porze nocnej

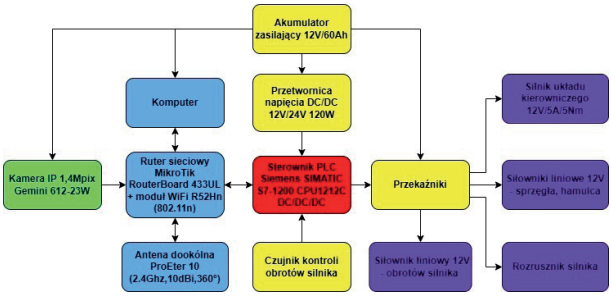


Rys. 9. Wynik detekcji obiektów w porze dziennej

Rys. 10. Wyniki detekcji zwierząt w porze dziennej

Realizacja techniczna

Na rysunku 10 przedstawiono schemat blokowy części sprzętowej systemu sterowania ciągnikiem autonomicznym z nawigacją wizyjną. System ten wykorzystuje do sterowania: sygnał z kamery IP Gemini 612-23W o rozdzielczości 1,4 Mpix z przetwornikiem ¼" OmniVision OV9712 CMOS, która jest wyposażona w interfejs sieciowy 10/100 Base-T (RJ-45) i oświetlacza podczernieni IR, sterownik PLC Siemens SIMATIC S7-1200 CPU1212C, router sieciowy MikroTik RouterBoard 433UL z modułem WiFi R52Hn obsługujący standard IEEE 802.11n, komputer PC oraz komponenty zasilania, silniki, siłowniki



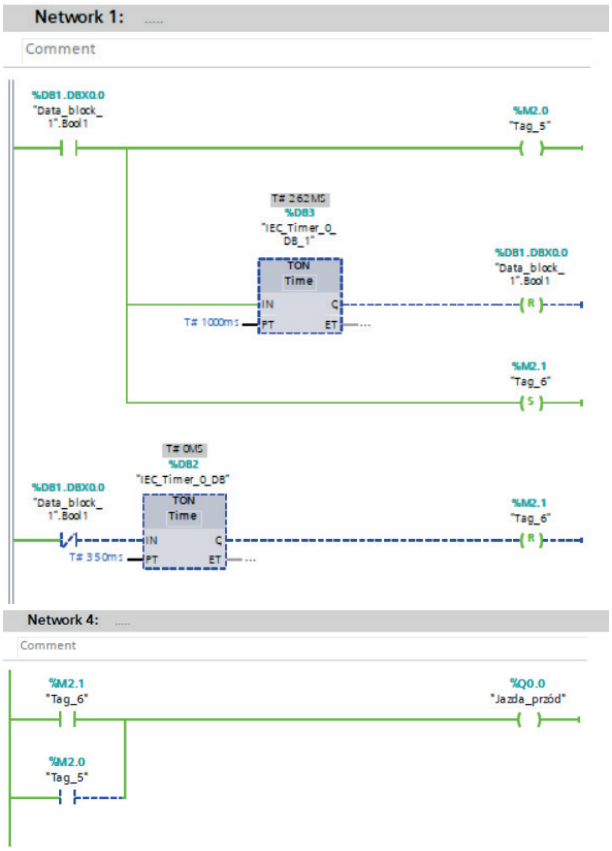
Rys. 11. Schemat blokowy systemu sterowania ciągnikiem autonomicznym (na podstawie [12])

i czujnik. Dodatkowo, dla poprawy zasięgu transmisji bezprzewodowej, system wyposażono w antenę dookólną ProEter 10 pracującą w paśmie 2,4 GHz, o zysku 10 dBi i kącie pokrycia 360°. Podstawowym źródłem zasilania opracowanego systemu jest akumulator 12V/60Ah, wraz przetwornicą DC/DC 12V/24V o mocy 120W.

Aplikacja jednostki nadrzędnej posiada możliwość bezprzewodowej komunikacji i nadawanie trybu pracy automatycznej lub manualnej. W cyklu automatycznym uruchomiony zdalnie zautomatyzowany ciągnik sadowniczy analizuje dane z kamery umieszczonej na kabinie ciągnika. Zaimplementowane algorytmy przetwarzające dane wizyjne dostarczają sygnałów sterujących elementami wykonawczymi układu automatyki: silnikiem układu kierowniczego, silnikiem regulacji obrotów oraz siłownikami sprzęgła i hamulca w przypadku konieczności zatrzymania. Manualny tryb sterowania został opracowany do obsługi sytuacji wymagających zdalnej ingerencji operatora nadzorującego proces jazdy autonomicznej. Przyjęte założenia i realizacja architektury sprzętowej oraz algorytmów sterowania wynika z doświadczeń autorów zebranych podczas prac eksperymentalnych nad projektem modułowego systemu wizyjnego do autonomicznych inspekcji i oprysków sadowniczych [13].

Do realizacji dwukierunkowej komunikacji z ciągnikiem wykorzystane zostało środowisko programistyczne Visual Studio oraz specjalna biblioteka S7.netplus [14], która umożliwia wymianę danych ze sterownikiem Siemens S7-1200. Sygnały z aplikacji sterującej przesyłane są do utworzonego bloku danych DB1 sterownika PLC. Stworzone zmienne w bloku danych są typu Bool i mogą przyjmować stany logiczne TRUE lub FALSE. Utworzone zmienne procesowe wykorzystano do napisania programu sterującego urządzeniami wykonawczymi. Sygnały sterujące przekazywane z wyjść cyfrowych sterownika, za pośrednictwem przekaźników elektromagnetycznych, załączają będą odpowiedni kierunek obrotów silników wykonawczych. W zależności od kierunku obrotów pojazd ma możliwość między innymi wykonania skrętu lewo/prawo lub regulowania obrotów silnika. Program dla sterownika PLC napisany został w języku drabinkowym LAD. Rysunek 11 przedstawia fragment kodu programu służącego do rozpoczęcia poruszania się ciągnika „do przodu".

Sygnał który rozpoczyna poruszanie się ciągnika przekazywany jest z aplikacji sterującej. Wówczas zmianie z FALSE na TRUE ulega zmienna Bool1 w bloku danych DB1. Powoduje to ustawienie markerów M2.0 i M2.1, które ustawiają w stan



Rys. 12. Fragment kodu w języku LAD

wysoki wyjście sterownika o adresie Q0.0. Równocześnie odliczanie rozpoczynają dwa zegary. Zegary te na swoim wyjściu ustawiają stan wysoki po zadanym czasie opóźnienia. Zastosowanie zegarów związane jest z funkcja bezpieczeństwa. Pierwszy z nich co 1 sekundę powoduje zmianę stanu zmiennej Bool1 z TRUE na FALSE. W wyniku zmiany tego stanu na FALSE odliczanie zaczyna zegar drugi. Jeśli w czasie wynoszącym 350 milisekund nastąpi nadpisanie zmiennej Bool1 na TRUE z aplikacji sterującej to ciągnika dalej porusza się bez zmian. Czas ten wynika z opóźnienia w przesyle sygnału i jest ustalany doświadczalnie dla danej powierzchni terenu na którym porusza się ciągnik. Jeśli w tym czasie nie dotrze sygnał z aplikacji sterującej to zezwolenie na jazdę zostaje odebrane i ciągnika zatrzymuję się. Logika ta zapewnia zatrzymanie pojazdu w przypadku utraty przez niego zasięgu.

Implementacja wizyjnego algorytmu sterującego

W przedstawionym systemie sterowania przetwarzanie obrazu z kamery realizowane jest w języku C# w środowisku Visual Studio. Obraz pozyskiwany z kamery, przesyłany jest za pośrednictwem sieci Ethernet i poddawany analizie z użyciem biblioteki EmguCV [15]. Sterowanie elementami wykonawczymi odbywa się poprzez zmienne bloku danych DB1 sterownika PLC.

Algorytm wizyjny analizuje układ rzędów drzew, wykrywa obiekty i estymuje trajektorię przejazdu, dostarczając dane wyjściowe od jednostki sterującej. Przetworzone dane są przesyłane do sterownika, który następnie realizuje odpowiednie programowe operacje sterujące. W wyniku realizacji odpowiednich funkcji programowych generowane przez sterownik PLC są sygnały wyjściowe i przekazywane do przekaźników elektromagnetycznych, które z kolei odpowiadają za sterowanie silnikiem układu kierowniczego, silnikiem obrotów, siłownikami sprzęgła i hamulca.

Wyniki testów systemu wizyjnego nawigacji

Badanie dokładności działania systemu wizyjnego sterującego układem automatyki zostało przeprowadzone w wybranych scenariuszach obejmujących manewry realizowane podczas uprawy plantacji sadowniczej (głównie podczas oprysków) w porze dziennej i nocnej. Podczas testów dokonywano korekt nastaw kalibracyjnych algorytmów sterujących, które pozwoliły na nawigowanie ciągnikiem w obszarze międzyrzędów sadowniczych, wykonywanie przejazdów miedzy rzędami w obrębie plantacji oraz detekcję obiektów na trasie przejazdu.

Dokładność pozycjonowania pojazdu miedzy rzędami drzew zbadano na podstawie cyklicznego odczytu pozycji punktów środkowych wyznaczanych przez opracowane algorytmy wyrażonej w liczbie kolejnych pikseli. Poniżej przedstawiono przykładowe dane z odcinka testowego między rzędami drzew [16].

Pozycja x pikseli wyznających punktu środkowy X = [778, 782, 727, 703, 692, 733, 734, 745, 697, 737, 716, 728, 747, 720, 737, 714, 733, 747, 782, 722, 720].

Średni punkt środkowy $\overline{X}_{śr}$ = 769,7

Odchylenie standardowe σ = 11,11.

Rozrzut pomiędzy skrajnymi wartościami pozycji piksela wyznaczającego punkt środkowy ΔX = 90, co w przeliczeniu na warunki rzeczywiste daje niedokładność nawigacji mniejszą od 13 cm.

Podsumowanie

Przedstawione wyniki testów dokładności wskazują na poprawne wyznaczanie środka międzyrzędzi przy braku gwałtownych zmian kierunku jazdy. Uzyskana dokładność znajduje się w założonym dla plantacji sadowniczych zakresie do ± 20 cm, bez redundantnych rozwiązań.

Podsumowując wyniki zrealizowanych zadań należy stwierdzić, że cel pracy jakim było opracowanie i zbadanie dedykowanych algorytmów do wyznaczonych zadań nawigacji został zrealizowany. Zaproponowane rozwiązanie pozwala na nawigowanie ciągnikiem zarówno w dzień jak również w porze nocnej, co jest często wykorzystywane podczas oprysków sadowniczych wykonywanych po zmroku. Zadanie wykonania nawrotów na końcach alejek sadowniczych było utrudnione ze względu na możliwość pojawiania się nieregularnych obiektów w otoczeniu ciągnika. Przyjęte rozwiązania umożliwiły jednak realizację tego zadania w podstawowym zakresie wykonania wyjazdu i wyjazdu z (do) alejek sadowniczych. Algorytm wykrywania został zweryfikowany w zakresie wykrywania przeszkód o kształtach sylwetki człowieka, przeszkód na drodze, a także zwierząt. W celu zwiększenia bezpieczeństwa ludzi i zwierząt wskazane jest dodatkowe wykorzystanie kamery termowizyjnej do zadań detekcji w praktycznych zastosowaniach. Wykorzystanie biblioteki Emgu.CV stwarza możliwości wdrożenia opracowanych algorytmów na zmodernizowanym zautomatyzowanym ciągniku sadowniczym, który zawierał będzie sterownik PLC firmy Siemens ze względu na połącznie programowe z biblioteką S7.netplus.

Przedstawione rozwiązania zostały przetestowane zarówno na nagraniach z okresu, gdy na drzewach są liście oraz w okresie bezlistnym. Potwierdziło to uniwersalność i poprawność przyjętych założeń i rozwiązań, które dodatkowo nie wymagają zastosowania algorytmów sztucznej inteligencji i złożonego przetwarzania danych.

Praca przygotowana za pomocą subwencji badawczej 0211/SBAD/0225.

Przyjęto: 05.10.2025, **zaakceptowano:** 04.11.2025, **opublikowano:** 24.11.2025

LITERATURA

[1] P. Góral, P. Pawłowski; K. Piniarski; A. Dąbrowski, "Multi-Agent Vision System for Supporting Autonomous Orchard Spraying," Electronics 2024, 13, 494. https://doi.org/10.3390/electronics13030494
[2] J. Seol, J. Kim, i H. I. Son, „Field evaluations of a deep learning-based intelligent spraying robot with flow control for pear orchards", Precis. Agric., t. 23, nr 2, s. 712–732, kwi. 2022, doi: 10.1007/s11119-021-09856-1.
[3] S. Ludwig-Ohm, P. Hildner, M. Isaak, W. Dirksmeyer, i J. Schattenberg, „The contribution of Horticulture 4.0 innovations to more sustainable horticulture", Procedia Comput. Sci., t. 217, s. 465–477, sty. 2023, doi: 10.1016/j.procs.2022.12.242.
[4] Zhang, C.; Yong, L.; Chen, Y.; Zhang, S.; Ge, L.; Wang, S.; Li, W. A Rubber-Tapping Robot Forest Navigation and Information Collection System Based on 2D LiDAR and a Gyroscope. Sensors 2019, 19, 2136. https://doi.org/10.3390/s19092136
[5] Hongkun Tian, Tianhai Wang, Yadong Liu, Xi Qiao, Yanzhou Li, Computer vision technology in agricultural automation —A review, Information Processing in Agriculture, Volume 7, Issue 1, 2020, Pages 1-19, ISSN 2214-3173, https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.006.
[6] G. Gao, K. Xiao, i Y. Jia, „A spraying path planning algorithm based on colour-depth fusion segmentation in peach orchards", Comput. Electron. Agric., t. 173, s. 105412, cze. 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105412
[7] N. Dalal i B. Triggs, „Histograms of oriented gradients for human detection", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), cze. 2005, s. 886–893 t. 1. doi: 10.1109/CVPR.2005.177
[8] Y. Cao, S. Pranata, i H. Nishimura, „Local Binary Pattern features for pedestrian detection at night/dark environment", 18th IEEE International Conference on Image Processing, wrz. 2011, s. 2053–2056. doi: 10.1109/ICIP.2011.6115883.
[9] Y. Cao, S. Pranata, i H. Nishimura, „Local Binary Pattern features for pedestrian detection at night/dark environment", 18th IEEE International Conference on Image Processing, wrz. 2011, s. 2053–2056. doi: 10.1109/ICIP.2011.6115883.
[10] J. Radcliffe, J. Cox, i D. M. Bulanon, „Machine vision for orchard navigation", Comput. Ind., t. 98, s. 165–171, cze. 2018, doi: 10.1016/j.compind.2018.03.008.
[11] E. Hamuda, M. Glavin, i E. Jones, „A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field", Comput. Electron. Agric., t. 125, s. 184–199, lip. 2016, doi: 10.1016/j.compag.2016.04.024.
[12] Góral P, Pawłowski P, Dąbrowski A., "System bezprzewodowego zdalnego sterowania dla pojazdu autonomicznego." Przegląd Elektrotechniczny (10.2019)
[13] Góral, P. Pawłowski P., Dąbrowski A., „Modułowy system wizyjny do autonomicznych inspekcji i oprysków sadowniczych" Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 98 Nr 2/2022 – s. 70–75, doi:10.15199/48.2022.02.14
[14] Communication with Siemens S7 Plc with C# and S7.Net plc driver, https://www.mesta-automation.com/ siemens-s-7-plc-c s7-net-plc-driver/, dostęp dnia 25.01.2025
[15] Emgu CV Library Documentation, https://www.emgu.com/wiki/index.php/Main_Page, dostęp: 29.01.2025
[16] P. Krysztoforski, A. Kledzik, Lokalizacja wizyjna pojazdu autonomicznego w zadanym środowisku, Praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Poznańska, 2025