

ZASTOSOWANIE KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW WIZYJNYCH W STEROWANIU AUTONOMICZNYMI ROBOTAMI ROLNICZYMI

Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane problemy związane z prawidłowym wyborem elementów systemów widzenia maszynowego. Przedstawiono czujniki i systemy optyczne stosowane do obserwacji otoczenia maszyn rolniczych i uzyskiwania obrazów (zdjęć) o wystarczającej jakości oraz lokalizację i rozmieszczenie elementów systemu na maszynie rolniczej. Opisano także rolę widzenia maszynowego w kierowaniu autonomicznymi maszynami rolniczymi korzystającymi z systemów GPS.

Słowa kluczowe: komputerowe systemy wizyjne, autonomiczne maszyny rolnicze, sterowanie

Wprowadzenie

Jedną z istotnych dziedzin, w których komputerowe systemy wizyjne znalazły zastosowanie jest nawigacja rolniczych pojazdów autonomicznych z systemami wykonawczymi. Ich koncepcja została zaproponowana w latach dwudziestych ubiegłego wieku, ale po raz pierwszy została zrealizowana w latach 80., kiedy technologia była już wystarczająco dojrzała, aby umożliwić rzeczywiste testy [4]. Obecnie obserwuje się rosnące zainteresowanie tą dziedziną, w której następuje znaczny postęp.

Przełomowe okazało się podejście bazujące na systemie GPS (*Global Positioning System*), które w latach dziewięćdziesiątych zaproponowali O'Connor i in. [5]. Autorzy ci pokazali w jaki sposób autonomiczny pojazd wyposażony w GPS z czterema antenami może zapewnić określenie zarówno pozycji, jak i kierunku w terenie z dokładnością wystarczająco wysoką, aby wykonać zadania rolnicze. Od tego czasu GPS został przyjęty jako typowa technika pomiaru i kontroli pozycji oraz kursu pojazdu i znalazł zastosowanie w systemach komercyjnych.

Obecnie technologia GPS zapewnia wystarczającą dokładność kierowania pojazdami rolniczymi i znajduje zastosowanie w komercyjnych systemach sterowania ich jazdą. Stwierdzono jednak, że, dla identyfikacji szczególnych cech roślin i przeszkód środowiskowych kluczowe znaczenie ma system wizyjny. W związku z tym obie techniki zaczęły być łączone w latach dwutysięcznych i stały się standardowym podejściem do pojazdów rolniczych [9]. W szczególności opracowano oparte na kamerach systemy [8], których głównym zadaniem było prowadzenie maszyny oraz systemy realizujące prace agrotechniczne, np. usuwania chwastów, w których prowadzenie maszyny stanowiło konsekwencję zadania głównego [2, 7].

Podstawowe własności czujników i systemów optycznych

W powszechnych obecnie czujnikach wizyjnych stosuje się matryce CCD (*Charge Coupled Device*) lub CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*). Działania obu są oparte na efekcie fotoelektrycznym, dzięki któremu wielkość sygnału elektrycznego zależy od intensywności światła padającego na określone elementy obrazu (piksele).

Czujniki CCD i CMOS nie są wrażliwe na kolory, więc gdy ma zostać zidentyfikowany kolor, przed każdym czujnikiem umieszczany jest filtr pasmowo przepustowy, aby umożliwić oddziaływanie tylko światła o zadanej częstotliwości. W zależności od typu systemu, stosowane są różne technologie. Typowe rozmieszczenie w czujnikach obrazowania CCD jest znane jako filtr Bayera [11]. Naprzemiennie rozmieszczone sensory (piksele) czerwono-zielone i niebiesko-zielone umożliwiają uzyskanie obrazów RGB (Red, Green, Blue), a filtry kolorów uzupełniających (Cyan, Magenta, Yellow) mogą służyć do tworzenia obrazów CMY.

Najpopularniejszym obecnie typem matryc jest **CMOS i jego odmiany (Exmor, LiveMos, X-Trans)**. Składa się ona z określonej liczby detektorów RGB, które po odpowiednim naświetleniu i obróbce przez procesor aparatu tworzą konkretny obraz. Matryce CMOS charakteryzują się dobrym oddaniem barw, niższym, w porównaniu do CCD, szumem i możliwością pracy z wyższymi czułościami. W odróżnieniu od matryc CCD, sygnał w matrycach CMOS sczytywany jest liniowo, a nie z całego sensora w jednym momencie.

Pod względem zastosowań w rolnictwie wybór czujnika zależy od jego potencjalnych cech. Tak więc, jeśli oczekiwane są złe warunki oświetleniowe, takie jak podczas prac wykonywanych o świcie lub zmierzchu, najbardziej odpowiednia powinna być technologia CMOS. CMOS jest również odpowiedni, gdy czas jest krytyczny, na przykład, gdy czas pomiędzy pozyskaniem obrazu a wykonaniem operacji jest bardzo niski. Może tak być w przypadku usuwania chwastów przez zastosowanie herbicydu na bazie rozpylaczy z dyszami, gdzie kamera jest przymocowana do każdego opryskiwacza z pojedynczą dyszą, a chwasty są identyfikowane do natychmiastowego oprysku. W większości zastosowań rolniczych, w których wykorzystuje się przetwarzanie obrazu, czas jest krytyczny, ale nie ekstremalny. Co więcej, warunki oświetlenia powodują problemy z powodu dużej zmienności w dniach z naprzemiennymi okresami słońca i chmur z szybkimi i częstymi zmianami. Problemy mogą pojawiać się także w dni o wysokiej / niskiej intensywności oświetlenia, ale problemy te nie są wystarczająco krytyczne, aby wymagać użycia wyłącznie matryc CMOS. Na ogół mogą być stosowane także czujniki oparte na CCD, szczególnie gdy współpracują z odpowiednio wydajną architekturą [4, 7].

Kolejną kwestią dotyczącą wyboru urządzeń do przetwa-

rzania obrazu jest szybkość pozyskiwania zdjęć podawana zwykle jako liczba klatek na sekundę (fps *frame per second*). W zależności od technologii sensorów i rozdzielczości przestrzennych, obecnie może ona wynosić od 7 fps do 1300 fps lub więcej. Technologia CMOS umożliwia zwykle uzyskanie większej liczby klatek na sekundę niż technologia CCD. Typowe prędkości robocze w autonomicznych pojazdach rolniczych wynoszą od $3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ($0,83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) do $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ($2,22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Oznacza to, że lokalizacja i rozmiar obszaru objętego zdjęciem (ROI *Region Of Interest*; rys. 1), który ma zostać poddany analizie, muszą gwarantować, że uzyskane obrazy będą przetwarzane w określonych granicach czasowych, wynikających m.in z prędkości pojazdu. Należy przy tym brać pod uwagę zarówno prędkość pozyskiwania zdjęć, jak i czasochłonność pozostałych zadań związanych z innymi czujnikami [4, 7].

Geometryczne cechy systemu wizyjnego

Ważnym elementem, decydującym o jakości pracy systemu wizyjnego wykorzystywanego w maszynach rolniczych jest jego lokalizacja, tzn. położenie kamer, ich odległość o powierzchnię pola, zakres widzenia. Parametry te wpływają na odwzorowanie fotografowanych obiektów 3D na płaską powierzchnię uzyskiwanego obrazu. Proces wyboru systemu wizyjnego maszyny uwzględniający rzutowanie obiektów 3D, składa się z następujących kroków (rys. 2):

1. Ustalenie pozycji kartezjańskiego układu współrzędnych dla maszynowego systemu wizyjnego na pojeździe.
2. Określenie centralnego punktu odniesienia o , czyli punktu, w którym przecinają się dwie przekątne w płaszczyźnie obrazu. Punkt ten będzie początkiem drugiego układu współrzędnych $oxyz$, z osiami (x, y, z) .
3. Określenie punktu początkowego O i powiązanych z nim osi układu kartezjańskiego (X, Y, Z) głównego (globalnego) układu współrzędnych $OXYZ$. Jest to układ współrzędnych, do którego odnosić się będą współrzędne 3D punktów. Jego położenie musi być odpowiednio ustalone, aby ułatwić realizację zadań rolniczych.

Przy konfiguracji systemu wizyjnego można określić szczegóły odwzorowania pikseli.

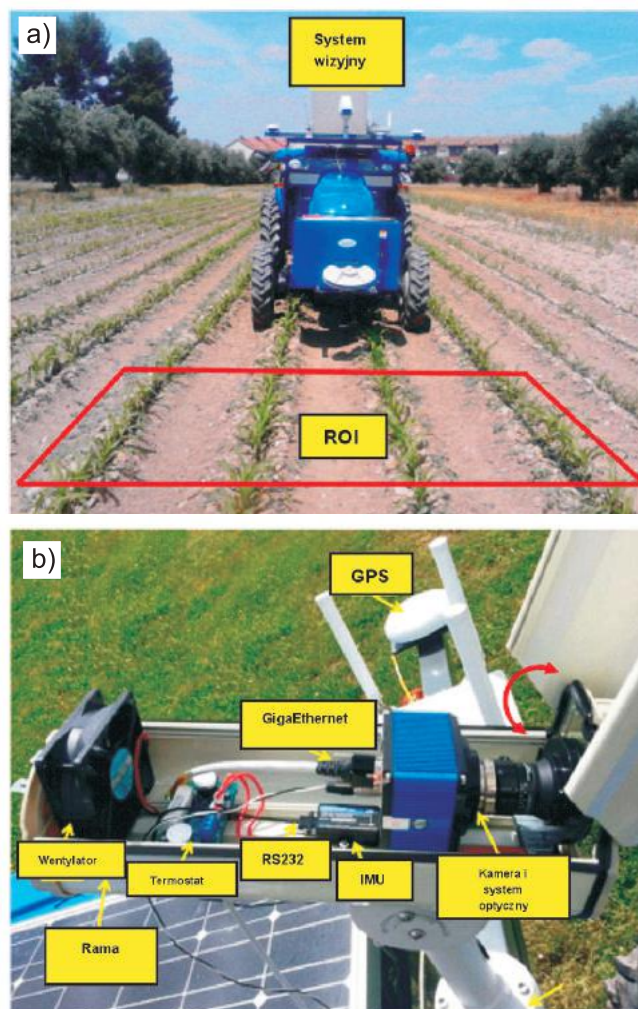
Geometria układu optycznego maszyny wpływa na ważne problemy, które należy uwzględnić w systemach widzenia maszynowego w rolnictwie:

1. Utrata trzeciego wymiaru podczas odwzorowywania sceny 3D na 2D wymaga dodatkowych rozważań, aby zagwarantować obrazowanie obszaru roboczego (ROI) z wystarczającą rozdzielczością i jakością.
2. Układy kamer na pokładzie pojazdów rolniczych należy projektować z uwzględnieniem rozdzielczości czujników i układów optycznych.
3. Dla potrzeb ustalenia najlepszych rozdzielczości dla celów transformacji geometrycznych z 3D na 2D zaleca się prowadzenie badań symulacyjnych.

Podczas badań autonomicznych pojazdów rolniczych sprawdzano skuteczność działania różnorodnych czujników, łącznie z systemem widzenia maszynowego. Przedstawiony opis dotyczy autonomicznego pojazdu naziemnego na komercyjnym podwoziu ciągnika (rys. 1a), wyposażonego w system widzenia maszynowego, wykorzystywany do sterowania oraz wykrywania i usuwania chwastów w uprawach kukurydzy (uprawa szerokorządowa).

Głównymi komponentami systemu wizyjnego w są zwykle kamery oparte na systemie optycznym. W praktyce otrzymywane z tego źródła dane są uzupełniane często przez informacje z czujnika inercyjnego IMU (*Inertial Measurement Unit*) Ponieważ niekiedy realizacja zabiegów agrotechnicz-

nych odbywa się w wysokich temperaturach, oba systemy umieszczane są czasami w obudowach z wentylatorem sterowanym przez termostat, (rys. 1b). System wizyjny powinien być chroniony przed pyłem, kroplami cieczy z rozpylaczy itp. Zadaniem przedstawionego na rys. 1 pojazdu jest prowadzenie zabiegów agrotechnicznych w umieszczonym z przodu obszarze roboczym (ROI), mającym kształt prostokąta o szerokości 3 m i długości 2 m (rys. 1a). ROI obejmuje cztery rzędy roślin w polu. Obszar ten rozpoczyna się od 3 m od wirtualnej osi pionowej przechodzącej przez środek płaszczyzny obrazu w kamerze, tj. tam, gdzie powstaje obraz (rys. 2).

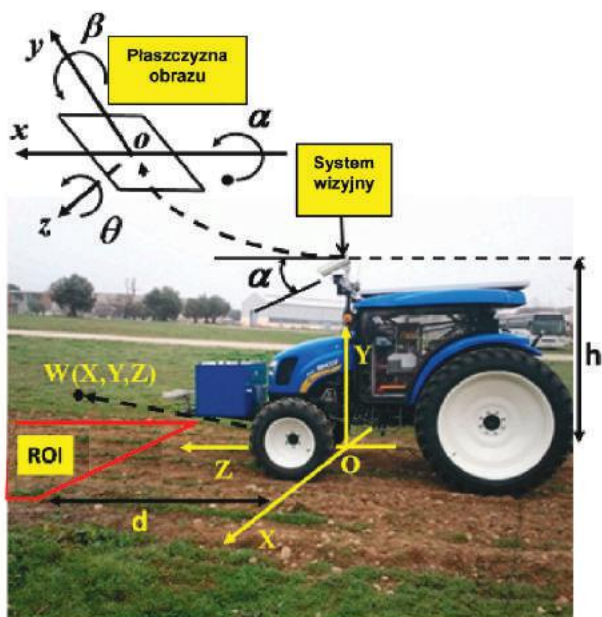


Rys. 1. Autonomiczny pojazd rolniczy z zamontowanym systemem wizyjnym: a - obszar roboczy systemu optycznego (ROI), b - system kamer [1]

Fig. 1. An autonomous farm vehicle with a mounted vision system: a - system of interest (ROI) of optical system, b - camera system [1]

Głównymi komponentami systemu wizyjnego w są zwykle kamery oparte na systemie optycznym. W praktyce otrzymywane z tego źródła dane są uzupełniane często przez informacje z czujnika inercyjnego IMU (*Inertial Measurement Unit*) Ponieważ niekiedy realizacja zabiegów agrotechnicznych odbywa się w wysokich temperaturach, oba systemy umieszczane są czasami w obudowach z wentylatorem sterowanym przez termostat, (rys. 1b). System wizyjny powinien być chroniony przed pyłem, kroplami cieczy z rozpylaczy itp. Zadaniem przedstawionego na rys. 1 pojazdu jest prowadzenie zabiegów agrotechnicznych w umieszczonym z przodu obszarze roboczym (ROI), mającym kształt prostokąta o szerokości 3 m i długości 2 m (rys. 1a). ROI obejmuje cztery rzędy

roślin w polu. Obszar ten rozpoczyna się od 3 m od wirtualnej osi pionowej przechodzącej przez środek płaszczyzny obrazu w kamerze, tj. tam, gdzie powstaje obraz (rys. 2).



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów systemu wizyjnego [1]
Fig. 2. Geometry of the vision system [1]

Na rysunku 2 przedstawiono przykładową geometrię systemu kamery. $OXYZ$ jest układem odniesienia o środku znajdującym się na powierzchni pola, którego osie są zorientowane tak, jak pokazano na rysunku; h jest wysokością od punktu O do początku układu $oxyz$ (punktu o) związanego z kamerą; kąty (θ) , (α) i (β) definiują położenie płaszczyzny obrazu względem układu odniesienia; d jest odległością od początku obszaru roboczego (ROI) do osi X .

Wpływ parametrów geometrycznych na możliwości i jakość pracy systemu wizyjnego ilustrują badania zmian wielkości obrazu obszaru o rozmiarze $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ liczona w pikselach, w zależności od jego położenia w obszarze roboczym, w różnych odległościach od punktu O początku układu współrzędnych $OXYZ$ i dla różnych kątów i wielkości ogniskowych [6]. Testy wykazały, że stosunek rozmiarów maksymalny/minimalny to $8840/110$ pikseli, co odpowiada odpowiednio obrazom o wymiarach 94×94 i 11×10 pikseli dla takiego samego rozmiaru fotografowanego obszaru wewnątrz obszaru roboczego (ROI). Informacja ta pozwala na ocenę możliwości systemu wizyjnego w zakresie rozróżniania kształtów lub obróbki, takiej jak operacje morfologiczne. Na przykład, jeśli do powyższych obszarów zastosowano binarną erozję morfologiczną za pomocą elementu 3×3 , to obszary te są zmniejszone odpowiednio do 8464 i 72 pikseli, co odpowiada redukcji o 4,2 i 34,5%. Oczywiście najlepsze jest rozwiązanie z największym rozmiarem, ale to własności i możliwości analizy najbardziej zmniejszonych obszarów mogą zadecydować o efektywności prowadzonej analizy i jakości pracy systemu wizyjnego.

Kierowanie pojazdem

Obecnie do autonomicznego prowadzenia pojazdów powszechnie stosowane są systemy GPS. Często jednak, kierowanie ciągnikiem odbywa dzięki połączeniu systemów GPS i systemów widzenia maszynowego.

Przed rozpoczęciem właściwej pracy do systemu sterowania wprowadzany jest opis działań, które mają być

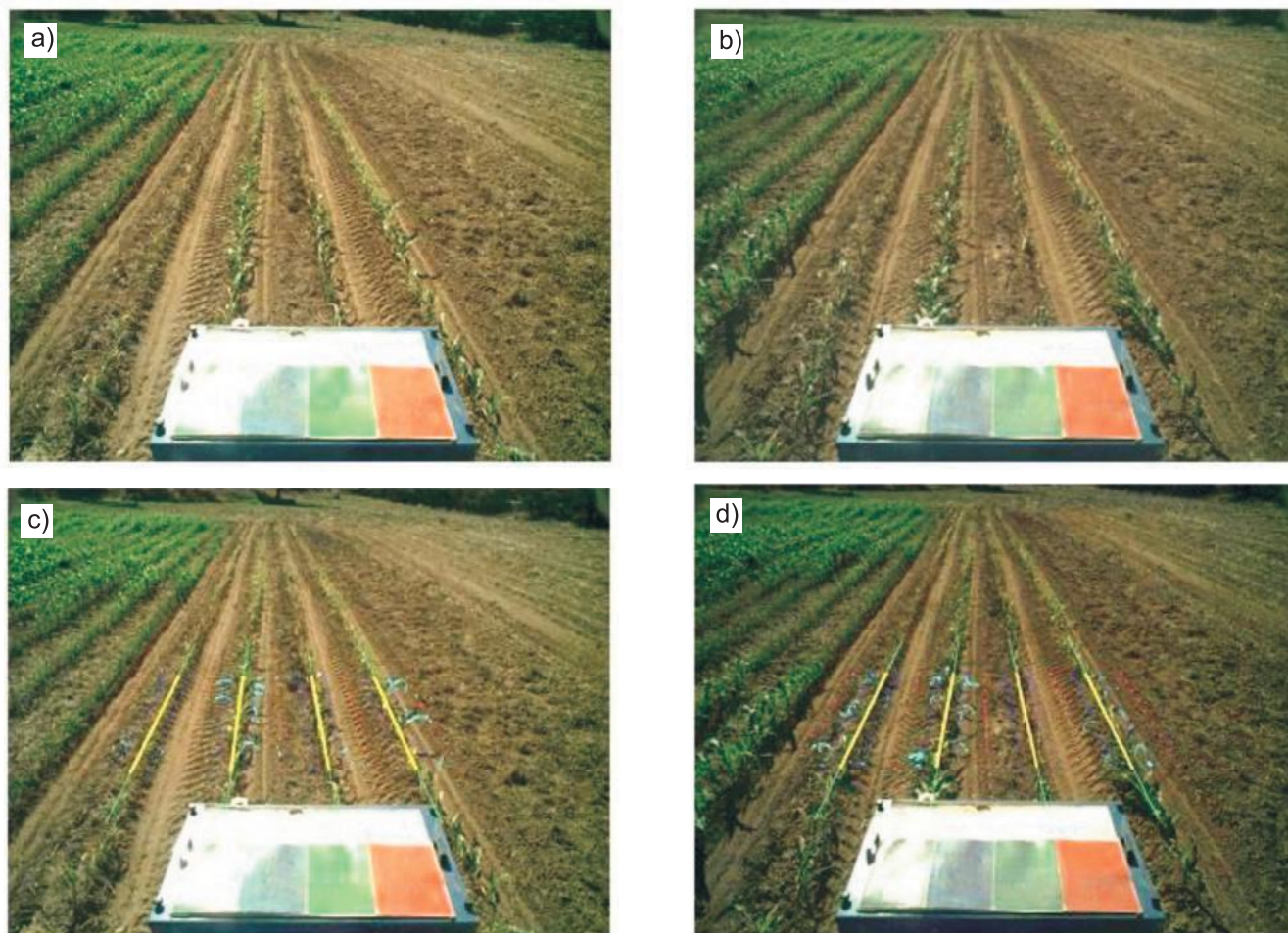
wykonane (misja). Zawiera on zestaw punktów trasy, które są ustalane na podstawie współrzędnych GPS. Definiują one początek (punkty początkowe) i pozycje końcowe (punkty docelowe) przejazdu po polu, przy czym dane misji zawierają na ogół pewną niedokładność, więc punkty początkowy i końcowy mogą nie pasować do odpowiadającego środka linii upraw.

Oprócz wykrywania rzędów roślin, co jest niezbędne zarówno do sterowania pojazdem, jak i prowadzenia zabiegów agrotechnicznych, system wizyjny dostarcza informacji na temat stanu i rodzaju roślin na polu, umożliwiając określenie na przykład. Stopnia zachwaszczenia w obszarze ROI. Procedura wygląda następująco:

1. Określona zostaje prędkość robocza. Jej wartość zależy od przewidywanych do wykonania prac polowych i własności narzędzi wykonawczych, systemu sterowania i układu pozyskiwania i opracowania informacji wizyjnej.
2. Wstępnie zdefiniowany plan określa kolejność punktów w planowanej trajektorii, które należy odwiedzić, w tym punkty początkowe i docelowe.
3. Pomiędzy dwoma punktami pośrednimi w terenie pojazd porusza się po linii wzroku.
4. System wizyjny rejestruje obrazy z szybkością odtwarzania do dziesięciu obrazów na sekundę.
5. System odczytuje współrzędne GPS z częstotliwością np. 10 Hz i rejestruje obraz, gdy pojazd przebywa odległość równą długości obszaru ROI.
6. System wizyjny kamery przetwarza każdy obraz w celu zidentyfikowania linii upraw mieszczących się w ROI. IMU dostarcza informacji o kątach pozycji kamery α i θ (rys. 2) tak, aby zidentyfikować spodziewane linie upraw. Dane o oczekiwanych liniach upraw stanowią wytyczne dla określenia rzeczywistych linii upraw [7].
7. W oparciu o względne położenie dwóch środkowych linii uprawy zidentyfikowanych w odniesieniu do środka obrazu, jeżeli występują odchylenia między wykrytymi liniami upraw i linią widzenia, poprzeczne odchylenie i kierunku są korygowane, aby dostosować kierunek jazdy ciągnika do rzeczywistych linii upraw na polu.
8. Wykryte linie upraw są wykorzystywane do określenia pokrycia chwastów w obszarze ROI, w oparciu o gęstość zieleni wokół linii upraw i między sąsiednimi liniami upraw [3].

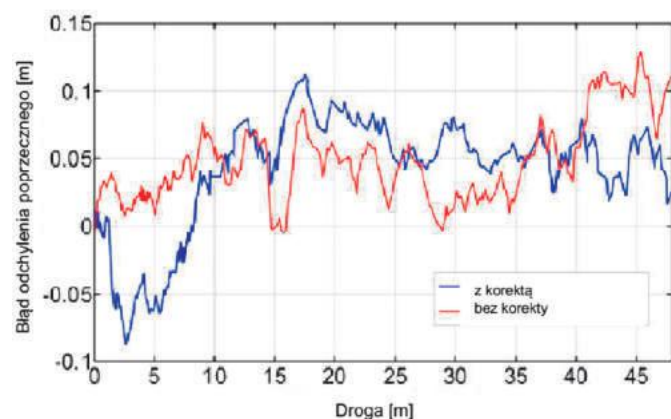
Rys. 3a i 3b przedstawiają dwa kolejne obrazy, uzyskane podczas przejazdu ciągnika wzdłuż zaplanowanej ścieżki z rzędami roślin, rosnącymi w obszarze roboczym (chwasty są również identyfikowane w rzędach uprawy). Ciągnik na rys. 3a jest nieznacznie odchyłony od prawidłowej trajektorii. Prawy górny róg w polu obrazu, należącego do ciągnika, jest bardzo zbliżony do prawego skrajnego rzędu roślin, co wskazuje, że to pole obrazu jest nieprawidłowo usytuowane w odniesieniu do czterech linii kadrowania uprawy wykrytych na rys. 3c. To niedopasowanie zostało skorygowane, co można zaobserwować na rys. 3b, gdzie pole obrazu jest lepiej wyśrodkowane w stosunku do rzędów centralnych uprawy (rys. 3d). W naturalnych warunkach polowych taka sytuacja jest bardzo powszechna na polach, ponieważ występują na nich liczne nierówności.

W pracy [6] przedstawiono wyniki badań wpływu zastosowania systemu wizyjnego na precyzję działania systemu sterującego autonomicznego. Rys. 4 ilustruje porównanie między wykorzystaniem informacji dostarczonych przez system wizyjny maszyny a wykorzystaniem informacji dostarczonych wyłącznie przez GPS podczas przejazdu przez pole kukurydzy. Można zauważyć, że system wykrywania rzędów nieznacznie poprawia jazdę wzdłuż rzędów, biorąc pod uwagę,



Rys. 3. Wyrównanie pojazdu wzdłuż rzędów roślin uprawnych: a - oryginalny obraz z odchyleniem, b - oryginalny obraz po korekcie, c - niewspółosiowość ciągnika w odniesieniu do rzędów roślin uprawnych, d - poprawiono niewspółosiowość [6]
 Fig. 3. Alignment of the vehicle along the crop rows: a - original image with deviation, b - original image after correction, c - misalignment of the tractor with respect the crop rows, d - misalignment corrected [6]

że teoretyczna ścieżka, do której należy się stosować korzystając tylko z systemu GPS, odpowiada środkowi rzędu, z którym porównywane są dwa wyniki. Warto też zauważyć, że rzędy roślin na końcu pola doświadczalnego zostały nieznacznie uszkodzone (ostatnie 10 m), ze względu na dużą liczbę wykonanych testów, a w tym obszarze system wizyjny do wykrywania rzędów popełnił dużą liczbę błędów.



Rys. 4. Porównanie błędu prowadzenia pojazdu w polu kukurydzy dla sterowania z korektą pochodzącą od systemu wizyjnego i bez korekty [6]
 Fig. 4. Comparison of control driving lateral error in the maize field with correction of the vision system and without correction [6]

Podsumowanie

Automatyczna realizacja operacji agrotechnicznych przez maszyny rolnicze oraz wymogi rolnictwa precyzyjnego powodują rosnące zapotrzebowanie na efektywne systemy widzenia maszynowego. Odpowiedni wybór tych systemów jest istotnym elementem skutecznej pracy powstających coraz liczniej rolniczych robotów polowych. W artykule wskazano wybrane problemy związane z prawidłowym wyborem elementów systemów widzenia maszynowego. Przedstawiono czujniki obrazowania i systemy optyczne stosowane do odwzorowywania otoczenia maszyn rolniczych i uzyskiwania obrazów (zdjęć) o wystarczającej jakości oraz lokalizację i rozmieszczenie elementów systemu na maszynie rolniczej. Opisano także rolę widzenia maszynowego w kierowaniu autonomicznymi maszynami rolniczymi korzystającymi z systemów GPS.

Z przytoczonych w artykule wyników można wnioskować, że odpowiednie połączenie wskazań systemu GPS i systemu wizyjnego poprawia dokładność jazdy i zawiązaną z tym jakość pracy autonomicznego robota polowego. Należy sądzić, że szczególnie istotne może to być w sytuacji niestaranie przygotowanego pola, w którym rzędy uprawianej roślinności nie tworzą linii prostych. Także pełne bezpieczeństwo pracy robota zapewnić może tylko system wizyjny lub laserowy, umożliwiając wykrycie na polu lub w jego otoczeniu nieoczekiwane przeszkody, których nie można było uwzględnić podczas planowania misji. W związku z rozwija-

jącą się „samodzielnnością” pojazdów autonomicznych znaczenie systemów wizyjnych w nawigacji autonomicznych pojazdów rolniczych prawdopodobnie wzrośnie. Wymaga to jednak rozwoju zarówno samych systemów wizyjnych, szczególnie w zakresie zmniejszenia ich zależności od warunków oświetleniowych dzięki np. zastosowania odpowiednich filtrów i zwiększenia jakości (szczególnie czułości) matryc, jak i rozwoju algorytmów analizy obrazu i sztucznej inteligencji.

Bibliografia

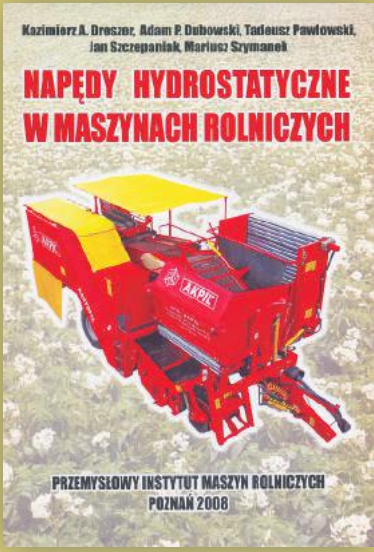
- [1] Emmi L., Gonzalez-de-Soto M., Pajares G., Gonzalez-de-Santos P.: Integrating Sensory/Actuation Systems in Agricultural Vehicles. *Sensors*, 2014, 14, 4014-4049. Doi:10.3390/s140304014.
- [2] Gée Ch., Bossu J., Jones G., Truchetet F.: Crop/weed discrimination in perspective agronomic images. *Comput. Electron. Agric.*, 2008, 60, 49-59.
- [3] Guerrero J.M., Guijarro M., Montalvo M., Romeo J., Emmi, L., Ribeiro A., Pajares G.: Automatic expert system based on images for accuracy crop row detection in maize fields. *Expert Syst. Appl.* 2013, 40, 656-664.
- [4] Li M., Imou K.; Wakabayashi K., Yokoyama S.: Review of research on agricultural vehicle autonomous guidance. *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, 2009, 2, 1-16.
- [5] O'Connor M. Bell T., Elkaim G., Parkinson B.: Automatic Steering of Farm Vehicles Using GPS. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture*, Minnesota, MI, USA, 23-26 June 1996.
- [6] Pajares G., García-Santillán I., Campos Y., Montalvo M., Guerrero J.M., Emmi L., Juan Romeo J., Guijarro M., Gonzalez-de-Santos P.: Machine-Vision Systems Selection for Agricultural Vehicles: A Guide, *J. Imaging*, 2016, 2, 34. Doi:10.3390/jimaging2040034.
- [7] Romeo J., Guerrero J.M., Montalvo M., Emmi L., Guijarro M., Gonzalez-de-Santos P., Pajares G.: Camera sensor arrangement for crop/weed detection accuracy in agronomic images. *Sensors*, 2013, 13, 4348-4366.
- [8] Rovira-Más F., Zhang Q., Reid J.F., Will J.D.: Machine vision based automated tractor guidance. *Int. J. Smart Eng. Syst. Des.*, 2003, 5, 467-480.
- [9] Stentz A., Dima C., Wellington C., Herman H., Stager D.: A system for semi-autonomous tractor operations. *Auton. Robot.*, 2002, 13, 87-104.
- [10] Tellaeche A., Burgos-Artizzu X.P., Pajares G., Ribeiro A.: A vision-based method for weeds identification through the Bayesian decision theory. *Pattern Recognit.*, 2008, 41, 521-530.
- [11] https://www.optyczne.pl/115-s%C5%82ownik-Matryca_filtr%C3%B3w.html [dostęp 6.05.2019].

THE APPLICATION OF COMPUTER VISION SYSTEMS IN THE GUIDANCE OF AUTONOMOUS AGRICULTURAL ROBOTS

Summary

The article presents selected problems related to the proper selection of machine vision system components. Optical sensors and systems for observing the surroundings of agricultural machines and obtaining images (photos) of appropriate quality, as well as the location and layout of system components on an agricultural machine are presented. The role of machine vision in directing autonomous agricultural machines by means of GPS systems is also described.

Keywords: computer vision systems, autonomous agricultural machines, control



Krzysztof A. Drosz, Adam P. Dubowski, Tadeusz Pawłowski,
Jan Szczepaniak, Mariusz Szymonek

NAPĘDY HYDROSTATYCZNE
W MASZYNACH ROLNICZYCH

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT MASZYN ROLNICZYCH
POZNAN 2008

ISBN 978-83-927505-0-5

NAPĘDY HYDROSTATYCZNE W MASZYNACH ROLNICZYCH

Książka adresowana jest do studentów uczelni rolniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawiera wybrane zagadnienia z mechaniki płynów i właściwości cieczy roboczych, opis budowy oraz działania poszczególnych maszyn hydraulicznych. Ponadto przedstawia przykładowe urządzenia hydrauliczne w wybranych maszynach rolniczych, a także diagnostykę układów hydraulicznych.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
tel. +48 61 87 12 200; fax + 48 61 879 32 62;
e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>