

**Jerzy MONTUSIEWICZ, Tomasz SZYMCZYK, Stanisław SKULIMOWSKI**

POLITECHNIKA LUBELSKA INSTYTUT INFORMATYKI,  
Nadbystrzycka 26b, 20-618 Lublin

## Optyczna metoda oceny realizacji zadanego toru ruchu programowalnego pojazdu elektrycznego

**Dr hab. inż. Jerzy MONTUSIEWICZ**

Kierownik Zakładu Programowania i Grafiki Komputerowej w Instytucie Informatyki WEiI. Pracę doktorską z zakresu metod dekompozycji w optymalizacji wielokryterialnej bronił w Politechnice Krakowskiej, a tytuł doktora habilitowanego uzyskał w Politechnice Poznańskiej za pracę prezentującą autorski system analizy wielokryterialnej do wspomagania procesów decyzyjnych.



e-mail: j.montusiewicz@pollub.pl

**Dr inż. Tomasz SZYMCZYK**

Adiunkt w Instytucie Informatyki na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Działalność naukowa koncentruje się wokół rozpoznawania obrazów, zagadnień rozszerzonej rzeczywistości, nowoczesnych interfejsów człowiek-komputer. Praca dydaktyczna w obszarze obiektowego projektowania systemów informatycznych, baz danych inżynierii oprogramowania.



e-mail: t.szymczyk@pollub.pl

**Mgr inż. Stanisław SKULIMOWSKI**

Asystent w Instytucie Informatyki Wydziału Elektrotechniki i Informatyki. Zainteresowania naukowe koncentrują się na zastosowaniach grywalizacji w edukacji, tworzeniu grafiki rastrowej i wektorowej. W ramach pracy w Zakładzie Programowania i Grafiki Komputerowej prowadzi badania naukowe w dziedzinie grafiki trójwymiarowej i inżynierii odwrotnej.



e-mail: s.skulimowski@pollub.pl

**Keywords:** trajectory measurement, augmented reality, image processing, programmable vehicles.

### 1. Wstęp

Programowanie i sterowanie samobieżnych pojazdów jest zagadnieniem, którym od wielu lat zajmują się specjaliści z różnych dyscyplin. Aby jednak takie sterowanie było efektywne i zawierało w sobie elementy programowania inteligentnego wykorzystującego informacje pochodzące od różnych czujników zbierających w czasie rzeczywistym informacje o otaczającym pojeździe środowisku, to w pierwszej kolejności należy zbadać właściwości trakcyjne konstrukcji analizowanego pojazdu.

Badany model pojazdu należałoby zakwalifikować do grupy pojazdów specjalnych – definicje takich pojazdów można znaleźć w ustawie „Prawo o ruchu drogowym” [6], a w zasadzie do kategorii pojazdów nazywanych łazikami. Wybrane konstrukcje rzeczywistych pojazdów oraz modeli: RATLER, INSPEKTOR, EXPERT, SCOUT, IBIS zostały opisane między innymi w pracy [2]. Inne konstrukcje pojazdów specjalnych można znaleźć w pracy [1]: np. SWORDS, MARS. Zaprezentowane konstrukcje znamionuje to, że nie mają klasycznych układów kierowniczych i niezależnie od faktu czy są to układy wielokołowe, czy układy gąsienicowe, to wywołanie skrętu wymaga zróżnicowania prędkości kątowej na lewe i prawe elementy napędowe. Cechą charakterystyczną takiego rozwiązania manewru skręcania pojazdem jest występowanie niekontrolowanego poślizgu między elementami napędowymi (koła lub gąsienice) a podłożem.

Najbardziej znany łazik to radziecki pojazd księżycowy – Łunochod o całkowitej masie 756 kg, który z powodzeniem poruszał się po powierzchni Księżyca w 1970 r. Jego układ napędowy składał się z ośmiu niezależnych kół (w razie awarii koła przewidywano jego zdalne odstrzelenie) [7]. Łunochod był sterowany „w czasie rzeczywistym” drogą radiową przez zespół operatorów znajdujących się w centrum nawigacji (czas przebiegu informacji z Księżyca do Ziemi wynosił około 1,3 s). Kolejne interesujące konstrukcje to amerykańskie pojazdy marsjańskie, których układy napędowe składały się z sześciu niezależnie napędzanych kół. Koła przednie i tylne posiadały silowniki sterowania, umożliwiające jazdę po łuku oraz obrót łazika wokół osi pionowej przechodzącej przez środek geometryczny pojazdu [2]. Łazik Sojourner o masie 10,6 kg zjechał z lądownika na powierzchnię Marsa 6 lipca 1997 r. Ze względu na ogromną odległość między Ziemią a Marsiem sterowanie tego pojazdu odbywało się w cyklu zadaniowym. Na koniec dnia z lądownika było wykonywane zdjęcie pojazdu i przesyłane na Ziemię. Na tej podstawie określano położenie pojazdu. Operatorzy z centrum sterowania tworzyli nowy kod programu zapewniający realizację nowego celu i przesyłali do lądownika, który przekazywał informacje poprzez antenę do pojazdu. Kolejny łazik to pojazd Spirit – z serii pojazdów MER (Mars Exploration Rover) o łącznej masie około 180 kg, który

### Streszczenie

W artykule opisano sposób optycznej rejestracji i pomiaru odchyłań różnic toru ruchu kolejnych przejazdów autonomicznego pojazdu sterowanego programem komputerowym. Do oszacowania odchyłań zastosowano elementy rozszerzonej rzeczywistości oraz obrazy zarejestrowane kamerą. Zaproponowano miarę różnic kreślonego toru ruchu w postaci pola powierzchni, którego kontur wyznaczają kolejne tory przejazdów. Wykazano, że wielkość pola rośnie wraz ze wzrostem mocy silników napędowych pojazdu.

**Słowa kluczowe:** pomiar toru ruchu, rozszerzona rzeczywistość, przetwarzanie obrazów, programowalne pojazdy.

### An optical method for evaluation of realization of a programmable electric vehicle trajectory

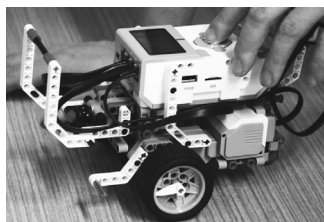
#### Abstract

The paper describes a method for optical recording and measurement of trajectory deviations of an autonomous vehicle. A model of the vehicle was built from a system of Lego blocks (Fig. 1), computer-programmed within a task system. The model applied belongs to special vehicles of the rover class [2]. The program providing for its motion along an 8-shaped track, with a parking option (Fig. 3), was prepared in the LabView system (Fig. 2) and inserted in the vehicle-steering module by means of wireless technology. The program consists of a sequence of motion commands along sections, as well as turns separated from each other by mini breaks. It was observed that each time the model motion track was different from the previous one. To estimate the deviation from the track in successive runs, elements of augmented reality were used, imposing a pattern of dimensioned grid upon the camera-registered image (Fig. 4). After advanced graphical transformations (image correction, charting the trajectory, vectorisation and Boolean arithmetic) a generalised measure of the differences of the charted motion track was obtained in the form of the surface of the area whose contour was marked by the individual tracks. It was shown that the size of the surface grew along with the power of the engines propelling the model. This results from the skidding of the wheels on the ground due to the multiple acceleration and breaking (mini breaks in the program sequences) as well as from turning. Further research will concern designing a program improving the model trajectories.

dotarł na Marsa 3 stycznia 2004 r. Pomimo początkowych trudności i awarii systemu sterującego udało się operatorom z Ziemi sformatować pamięć typu flash i uaktualnić istniejące oprogramowanie. Ostatni marsjański łazik to Curiosity o masie całkowitej blisko 900 kg, który zaczął badać powierzchnię czerwonej planety w sierpniu 2012 r. Pojazd ten posiadał oryginalny układ jezdny składający się z zawieszania typu rocker-bogie, pozwalający na współdziałanie niezależnych kół jezdnych i indywidualne ich napędzanie. Elementem nowym było zastosowanie drążka różnicowego pozwalającego na powiązanie ruchu kół obu stron [3].

## 2. Model badawczy

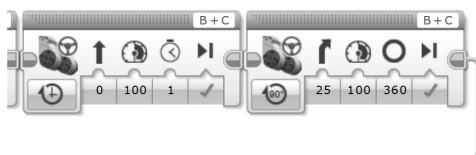
Analizowany w pracy pojazd jest modelem występującym pod nazwą „Educator Vehicle” o numerze identyfikacyjnym 45544 zbudowanym z klocków Lego serii Mindstorms w wersji EV3. Jest to pojazd autonomiczny. W badanej wersji nie zostały zaimplementowane elementy sztucznej inteligencji. Jego wygląd zaprezentowano na rysunku 1.



Rys. 1. Widok badanego pojazdu  
Fig. 1. The vehicle tested

Model badany składa się z dwóch niezależnych kół napędowych oraz trzeciego punktu podparcia w postaci metalowej kulki osadzonej w gnieździe zapewniającym swobodny obrót względem trzech wzajemnie prostopadłych osi. Cechą charakterystyczną tego modelu jest również to, że koła napędowe nie są kołami skrętnymi. W takiej sytuacji, aby uzyskać ruch skrętny pojazdu należy różnicować względem siebie (programowo) prędkość kątową obu kół napędowych. W skrajnym przypadku można spowodować, że koło zewnętrzne obraca się do przodu (w kierunku ruchu pojazdu), a koło wewnętrzne w stronę przeciwną. Przy takim zaprogramowaniu ruchu skrętnego pojazdu uzyskujemy najmniejszy z możliwych promieni skrętnych.

Do zadaniowego programowania wykorzystano środowisko LabView, a następnie poprzez zastosowanie technologii Bluetooth wgrano program do kostki sterującej modelem i uruchomiono go zdalnie z komputera. Przygotowany program zbudowany był z sekwencyjnie ustawionych bloków, z których każdy realizował elementarny (po odcinku lub skręcie) ruch modelu po zaplanowanej trajektorii, rysunek 2.



Rys. 2. Widok bloku sekwencji jazdy po odcinku i skręcie w prawo  
Fig. 2. View of the driving sequence block along a section and right turn

Środowisko LabView pozwala na manewrowanie ruchem pojazdu napędzając niezależnie oba koła modelu, ale nie ma dostępnych narzędzi, które pozwoliłyby na pełne sterowanie zastosowanymi silnikami. W tej sytuacji silniki elektryczne zostały potraktowane jako źródło napędu dysponujące mocą, których dostępne wartości określane są w programie, jako udział procentowy wartości maksymalnej przewidzianej przez producenta. Programista nie ma możliwości bezpośredniego deklarowania wartości prądów zasilających silniki, wartości momentów, a także wartości prędkości kątowych kół napędowych i stopniowego ich

rozpędzania, tak aby nie następowało przekroczenie sił granicznych (ich przekroczenie powoduje powstanie poślizgu między kołami a nawierzchnią).

W przypadku jazdy „na wprost” sterowanie kołami napędowymi odbywa się za pomocą modyfikacji trzech parametrów: zwrotu, tzw. „mocy silnika” rozumianej jako zadany procent maksymalnej wartości dopuszczalnej przez producenta i czasu jej działania. Moduł sterowania odpowiedzialny za skręt wymaga określenia kierunku, „mocy silnika” i kąta skrętu. W fazie skrętu użytkownik nie posiada możliwości sterowania czasem wykonywania operacji.

Świadome programowe rozdzielenie fazy przemieszczania się pojazdu po odcinkach od fazy skrętu pozwoliło na wywołanie poślizgu między kołami napędowymi a podłożem i badanie zachowania się modelu poprzez analizę kreślonej trajektorii [4].

## 3. Metoda badania toru ruchu pojazdu

Do badania toru ruchu modelu pojazdu zaprogramowano trasę w postaci pętli, w której model rusza z pozycji parkingowej, wykonuje tzw. „ósemkę”, a następnie parkuje tyłem w to samo miejsce, rysunek 3. Dla dobrej widoczności trajektoria ta została pogrubiona. Trasy w kształcie figur podstawowych, takich jak: prostokąt czy okrąg nie były brane pod uwagę ze względu na zbyt małą różnorodność w aspekcie programistycznym. Zaproponowana przez autorów trasa łączy w sobie fazy ruchu: po odcinku „na wprost”, po łukach (w lewo i w prawo) oraz do tyłu. W ten sposób możliwe staje się zbadanie typowych sytuacji, których można spodziewać się, gdy model pojazdu wzbogacony o odpowiedni zestaw czujników i moduły sztucznej inteligencji, będzie w stanie omijać nieznane przeszkody pojawiające się na zdefiniowanej wstępnie drodze przejazdu. Dzięki temu uzyskane rezultaty i wynikające z nich wnioski będą przydatne w dalszych pracach badawczych. Przemieszczenie modelu po zaplanowanej trasie było zrealizowane przy zastosowaniu dwóch wartości mocy silników napędowych, rozumianych w sensie środowiska Mindstorms LabView, odpowiednio: 100% i 50%. Przeprowadzono po trzy próby dla każdej z mocy.

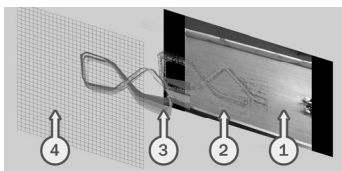


Rys. 3. Przewidywany idealny tor ruchu pojazdu  
Fig. 3. Expected ideal vehicle path

Średni czas przejazdu określony na podstawie trzech przejazdów pełnej trasy przy różnych mocach wynosi odpowiednio 13,8 sekundy dla 100% mocy oraz 16,8 sekundy dla 50% mocy. Należy zauważyć, że czas potrzebny na ukończenie zadania nie jest zależny jedynie od mocy zadanej silnikom napędowym. W programowaniu zadaniowym przewidywany czas przejazdu jak i długość trajektorii są stałe. Powstające nieznaczne różnice w czasie przejazdu wynosiły maksymalnie 0,3 sekundy. W związku z tym długość trasy poszczególnych przejazdów nieznacznie się różni. Ponadto przy pełnej mocy silników model zdecydowanie szybciej pokonuje trasę po odcinkach, ale dopiero po rozpędzeniu. Przy użyciu większej mocy silników dłużej trwają fazy poślizgu występujące przy rozpędzaniu oraz hamowaniu, co zostało wykazane w dalszej części artykułu. Czasy fazy skrętu są zbliżone do siebie przy różnych mocach napędzania silników.

Do rejestracji pojedynczego przejazdu modelu po zaplanowanej trasie wykorzystano kamerę Microsoft LifeCam HD-3000 umieszczoną nad płaszczyzną toru modelu. Zniekształcenia obrazu powstałe na skutek kąтового odchylenia osi obiektywu od normalnej Powstałe zniekształcenia obrazu wynikające z kąтового odchylenia osi obiektywu od normalnej oraz dystorsję sferyczną usunięto wykorzystując oprogramowanie Adobe Photoshop CS6. Nagrane, a następnie przetworzone filmy pozwoliły przy zastosowaniu programu HitFilm 2 Express opracowanego przez firmę FXHOME na wygenerowanie trajektorii kolejnych przejazdów

modelu. Wykorzystując rozszerzoną rzeczywistość nałożono znormalizowaną siatkę (wzornik siatki prostokątnej o jednostkowym rozmiarze 5x5 cm), rysunek 4.



Rys. 4. Prezentacja procesu analizy dokładności ruchu: 1 – film, 2 – trajektorie, 3 – rozbieżności torów ruchu, 4 – wirtualna siatka wzorcowa

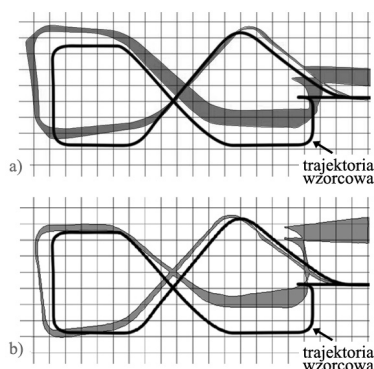
Fig. 4. Presentation of the process of analysis of motion accuracy: 1 – the film, 2 – trajectories, 3 – divergence of trajectories, 4 – virtual grid reference

#### 4. Metoda oceny dokładności ruchu modelu

Do określenia rozbieżności ruchu modelu w kolejnych przejazdach, przy zadawaniu tej samej mocy silników napędowych, w odniesieniu do trajektorii wzorcowej, zaproponowano metodę oceny jakościowej oraz ilościowej.

##### Ocena jakościowa

Do oceny jakościowej wygenerowano obszary tworzące figurę ze sklejania skrajnych trajektorii przejazdów modelu. W szczególnym przypadku brzeg takiej figury może pokrywać się z trajektoriami poszczególnych przejazdów. Na rysunku 5 pokazano uzyskane wyniki osobno dla dwóch mocy silników napędzających model.



Rys. 5. Obszary ruchu modelu przy dwóch mocach silników: a) 100%, b) 50%

Fig. 5. Fields of the model motion with two engine powers: a) 100%, b) 50%

Można zauważyć, że obszar odzwierciedlający niedokładność ruchu pojazdu przy wykorzystaniu 100% mocy silnika jest znacznie większy od obszaru dla 50% mocy silnika. Ponadto widać wyraźnie identyczną tendencję przesunięcia uzyskanych obszarów odwzorowujących ruch modelu w odniesieniu do trajektorii wzorcowej – w górę oraz wydłużenie rzeczywistego toru ruchu.

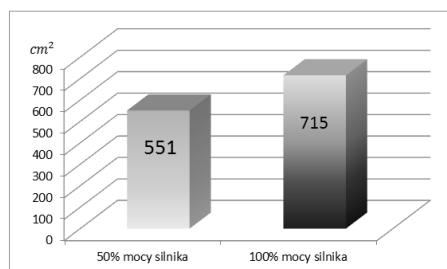
##### Ocena ilościowa

Do oceny ilościowej zaproponowano miarę w postaci pola powierzchni, wyżej opisywanego obszaru. Na uwagę zasługuje fakt, iż w tym przypadku nie odniesiono się do trajektorii wzorcowej, lecz do wzajemnego położenia torów ruchu rzeczywistych przejazdów modelu, wynikających z identycznego programu zadaniowego. Dla zwartości zapisu autorzy w dalszej części artykułu nazywają to miarą rozbieżności toru ruchu.

W celu obliczenia wartości liczbowej zaproponowanej miary dokonano wektoryzacji, uzyskanego obrazu bitmapowego (rastrowego), utworzenia obiektów typu *region* oraz zastosowania arytmetyki *Boole'a* wykorzystując do tego celu program AutoCAD 2013. Przy zastosowaniu wymienionych narzędzi zachowano właściwe skalowanie obiektów graficznych, aby nałożona

siatka wzorcowa zachowywała zawsze początkowy rozmiar 5x5 cm. W efekcie tych działań wyznaczono powierzchnie pól ograniczonych skrajnymi trajektoriami. Zestawienie pól powierzchni rozbieżności torów ruchu pokazano na rysunku 6.

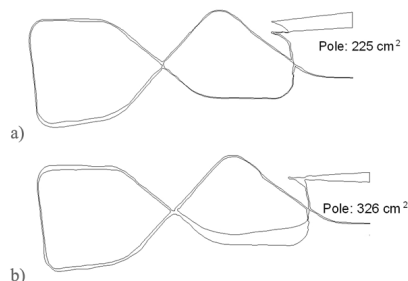
Uzyskane wartości pokazują dużą różnicę między analizowanymi wariantami przejazdów, która wynosi 164 cm<sup>2</sup>, co stanowi blisko 30% wartości pola powierzchni dla przejazdu przy użyciu 50 procent mocy silników. Różnica ta wynika z faktu, że przy zastosowaniu pełnej mocy silników napędowych koła pojazdu szybciej tracą przyczepność z podłożem zarówno w chwili startu do fazy ruchu po odcinku, fazy hamowania do zatrzymania się przed każdym manewrem skrętu oraz w trakcie wykonywania fazy skrętu. Obserwowane poślizgi kół po powierzchni oraz warunków środowiskowych i nie są w pełni zdeterminowane, dlatego każdy z badanych przejazdów wyznacza inną trajektorię.



Rys. 6. Obliczone maksymalne pola powierzchni rozbieżności trajektorii

Fig. 6. The calculated maximal surface area of the divergence of trajectories

Ponadto dla tej samej zastosowanej mocy napędowej wyznaczono pola obszaru między kolejnymi trajektoriami przejazdów modelu, co pozwala na określenie różnicy pomiędzy tymi przejazdami. Na rysunku 7 zaprezentowano przebiegi trajektorii obrazujące niedokładności przejazdów, a w szczególności różnicę w trajektoriach między przejazdami oraz wartości obliczonych pól powierzchni dla przypadku zastosowania 50% mocy silników.



Rys. 7. Obszary ruchu modelu przy stałej mocy silników równej 50% obrazujące różnicę między przejazdami: a) pierwszym a drugim, b) drugim a trzecim

Fig. 7. Fields of the model motion at constant power of the engines of 50% that reflects the difference between the runs: a) the first and the second, b) the second and the third

Na rysunku 7a pokazano przejazdy o zbliżonej trajektorii ruchu, zróżnicowanej podczas manewru parkowania. W drugim przypadku (rysunek 7b) niewielkie zróżnicowanie trajektorii wystąpiło podczas manewru skrętu w lewo, a znacząco większe po przeciwieciu się trasy przejazdu. Różnica pól powierzchni wyniosła 101 cm<sup>2</sup>, co stanowiło blisko 45% wartości pola uzyskanego w pierwszym przypadku (rysunek 7a).

##### Dokładność pomiaru

Uzyskane różnice wartości pól obszarów wykreślonych przez porównywane toru ruchu badanego modelu są bardzo duże, zarówno w wartościach bezwzględnych oraz względnych. Wartości te są z całą pewnością wielokrotnie większe od błędów pomiarowych, który został zrealizowany od rejestracji obrazu przemieszczającego się modelu do obliczenia wartości interesujących nas pól powierzchni.

Przy rejestracji obrazu przejazdu modelu użyto kamery o rozdzielczości 1280x720 pikseli. Przy założeniu, że odległość kamery od powierzchni oraz ogniskowa obiektywu zostały tak dobrane, aby filmowany obraz obejmował tylko interesujący nas obszar ruchu modelu, pojedynczy piksel (najmniejszy nośnik informacji obrazu bitmapowego) ma rozmiar 1,07x1,07 mm i reprezentuje obszar o rozmiarze około 1,15 mm<sup>2</sup>. Zapisując ten obszar w pliku z kompresją bezstratną (png), bez zmiany pierwotnego rozmiaru, piksele nadal przechowują tę informację.

W procesie wektoryzacji obraz z reprezentacji pikselowej zamieniany jest na reprezentację w postaci równań opisujących odpowiednie obiekty geometrii dwuwymiarowej (odcinki, które łączone są w wielokąt) [8]. Proces tworzenia obiektów wektorowych przebiega poprzez analizę położenia poszczególnych pikseli tworzących kontury obiektów postrzeganych przez oko ludzkie jako wrażenie barwne. W bitmapowej grafice skokowo tonalnej, a z takimi obrazami mamy do czynienia w naszym przypadku, rozpoznanie krawędzi obiektu jest stosunkowo proste, a jego efektywność związana jest z występującym zjawiskiem aliasingu i zastosowaną metodą jego eliminacji. Proces wyznaczania krawędzi w zapisie wektorowym będzie więc, w niektórych przypadkach przesuwał się na zewnętrzną granicę analizowanego piksela lub jego granicę wewnętrzną [5]. Tak więc obszar ograniczony generowaną krawędzią będzie się zwiększał lub zmniejszał. Oszacowanie od góry błędów metody w wartościach bezwzględnych jest więc możliwe, gdy znamy obwód interesującego nas obszaru. Program AutoCAD 2013 po zastosowaniu polecenia *parafiz* wyznacza nie tylko pole wskazanego obiektu typu *region*, ale również obwód oraz wiele innych wartości, np. wymiary ramki ograniczającej obiekt czy momentów bezwładności względem osi X i Y. Znając obwód, pierwotny rozmiar piksela w milimetrach oraz przebieg konturu można obliczyć początkową liczbę pikseli, które wyznaczały kontur obiektu w grafice bitmapowej.

Z analizy kształtu toru ruchu modelu można przyjąć, że około 50% trasy jest kreślona liniami równoległymi do osi układu kartezjańskiego, zaś pozostałe liniami ukośnymi i krzywymi. Tak więc przy rozmiarze piksela wynoszącym 1,15 mm<sup>2</sup> liczba pikseli obrazujących kontur będzie równa w przybliżeniu iloczynowi obwodu wyrażonego w milimetrach przez współczynnik równy 0,80. Przyjmując, że generowana linia konturowa w połowie przypadków będzie powiększała tworzony obszar, a w drugiej połowie pomniejszała, to sumaryczny błąd powierzchni takiego obszaru byłby w przybliżeniu równy zeru. Zakładając, że proces wektoryzacji nie będzie dla nas w pełni korzystny przyjęto, że pełna wzajemna kompensacja będzie dotyczyła tylko połowy analizowanych pikseli. Tak więc pole obszaru będzie błędnie obliczone o wartość odpowiadającą iloczynowi pola reprezentowanego przez jeden piksel i połowę liczby pikseli tworzących kontur obszaru.

W tym miejscu należy zaznaczyć, że w przypadku obiektów bitmapowych, w których kolor obiektu tworzy duży kontrast z tłem istnieje możliwość skutecznego zastosowania zwiększenia liczebności pikseli reprezentujących analizowany kontur przy jednoczesnym zmniejszeniu pola powierzchni, które reprezentuje. Na przykład, podział każdego istniejącego piksela na cztery części powoduje wzrost liczebności pikseli odwzorowujących kontur około 2 razy, przy jednoczesnym zmniejszeniu jego powierzchni jednostkowej 4 razy. Wyznaczone pole niedokładności zmniejszyłoby się w przybliżeniu dwukrotnie. Stąd dokładność zastosowanej metody wyznaczania pola powierzchni rozważanego obszaru może zostać znacząco zwiększona.

Oszacowanie błędów wyznaczenia pola powierzchni dla przejazdu przy zastosowaniu 50% mocy silników (rysunek 6) przedstawia się następująco: obliczone pole powierzchni wynosi 551 cm<sup>2</sup>, długość obwodu 5800 mm (łącznie długość konturu zewnętrznego oraz wewnętrznego). Powierzchnia reprezentowana przez pojedynczy piksel wynosi 1,15 mm<sup>2</sup>, co odpowiada kwadratowi o boku 1,07 mm. Liczba pikseli (zgodnie z założeniami opisanymi powyżej) odwzorowujących obwód wynosi 4640. Obliczone pole pikseli źle zakwalifikowanych przy wyznaczaniu konturu obszaru, bez podziału pikseli na 4 części, wynosiłoby

2668 mm<sup>2</sup> (2320x1,15 mm<sup>2</sup>), zaś przy zastosowaniu podziału – około 1334 mm<sup>2</sup> czyli 13,34 cm<sup>2</sup>. W odniesieniu do wyznaczonego pola powierzchni wynosi to około 2,4%. Oszacowanie błędów obliczenia pola obszaru z rysunku 7a wynosi około 6%.

## 5. Zakończenie i wnioski

W pracy zaproponowano i zrealizowano optyczną metodę rejestracji toru ruchu modelu wraz z procedurą jej przekształcania w celu uzyskania jakościowych i ilościowych wyników przydatnych do oceny obserwowanej rozbieżności ruchu modelu w kolejnych przebiegach, przy zastosowaniu programowania zadaniowego.

Zaproponowana miara rozbieżności torów ruchu modelu w kolejnych przejazdach w postaci pola powierzchni ograniczonego skrajnymi trajektoriami może być z powodzeniem stosowana dla programowania zadaniowego realizującego tę samą zdefiniowaną trasę przejazdu.

Dokładność zaproponowanej miary, w wartości bezwzględnej jest uzależniona od: rozdzielczości rejestrowanego obrazu, długości konturu i jego powierzchni. Dokładność metody można znacząco zwiększać optycznie przez zastosowanie kamer o wyższej rozdzielczości oraz numerycznie przez wprowadzenie interpolacji zarejestrowanego obrazu, przy czym obie metody można łączyć.

Przeprowadzona analiza opisana w pracy pokazała, że oszacowana wartość błędów w skrajnym przypadku wynosiła około 6% i była wielokrotnie mniejsza od wartości różnic pól powierzchni w kolejnych przejazdach (rysunek 7a).

Z przeprowadzonych badań wynika, że głównymi przyczynami rozbieżności w kształcie toru ruchu modelu są występujące poślizgi kół po nawierzchni powstające w fazach rozpędzania, hamowania i skręcania. Uzyskane rezultaty potwierdziły przypuszczenia, że przy użyciu pełnych mocy silników napędowych obserwowane rozbieżności kreślonych trajektorii są większe, co odzwierciedla zwiększona wartość powierzchni pola zaproponowanej miary rozbieżności toru ruchu.

Uwaga autorów pracy jest zorientowana w dalszej perspektywie na zbudowaniu efektywnego inteligentnego oprogramowania, przy wykorzystaniu środowiska Mindstorms LabView, Not Quite C oraz RobotC, służącego do sterowania pojazdem z rozproszonym układem napędowym składającym się z wielu niezależnych od siebie silników elektrycznych. Analizowany model pojazdu jest pierwszym etapem tych działań i został wybrany ze względu na dostępność i powtarzalność jego konstrukcji w różnych środowiskach akademickich. Taka konstrukcja modelu pozwala na dość łatwe porównywanie uzyskanych rezultatów.

## 6. Literatura

- [1] Ewertowski J., Nita Z.: Zastosowanie robotów bojowych na wspólnym polu walki, *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów*, vol. 3 (75), s. 75-82, 2009.
- [2] Gałęzia A., Mączak J., Radkowski S.: Wielozadaniowe autonomiczna platforma transportowa – przegląd rozwiązań, *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów*, vol. 3 (75), s. 27-38, 2009.
- [3] Kenneth S.E. et al.: Curiosity's Mars Hand Lens Imager (MAHLI) Investigation, *Space Sci Rev*, vol. 170, Springer, s. 259-317, 2012.
- [4] Pięta A., Mikułski M.: Autonomiczne systemy nawigacji pojazdów bezzałogowych, *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów*, vol. 3 (75), s. 89-98, 2009.
- [5] Plichta A.: Badanie dokładności manualnej wektoryzacji obiektów infrastruktury kolejowej na ortofotomapie satelitarnej, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 16, s. 483-494, 2006.
- [6] Prawo o ruchu drogowym: Dz. U., nr 98, poz. 602, 1997.
- [7] Siddiqi A.A.: Deep space chronicle: a chronology of deep space and planetary probes, 1958-2000, *Monographs in Aerospace History*, NASA SP, vol. 24, s. 101, 2002.
- [8] Zachara M.: Szybka metoda wektoryzacji krawędzi odcinkami w czasie rzeczywistym, *Automatyka*, tom 10, zeszyt 3, s. 427-434, 2008.