



Politechnika
Śląska

SYSTEM AUTONOMICZNY INCYDENTALNIE STEROWANY PRZEZ ZDALNEGO OPERATORA: PODSTAWY METODYCZNE I WSTĘPNA WERYFIKACJA EKSPERYMENTALNA

WOJCIECH MOCZULSKI^{1,2}, PATRYK MIELNICZEK³

¹Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

²AuRoVT sp. z o.o.

³Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, kier. AiRP

Plan prezentacji

- Wprowadzenie
- Autonomia + VT
- Detekcja zbyt trudnej sytuacji/problemu
- Autonomia + VT w prowadzonych badaniach
- Wstępna weryfikacja eksperymentalna
- Podsumowanie i wnioski

Wprowadzenie

Automatyczny vs. autonomiczny

- pojazd automatyczny – pojazd silnikowy (samochodowy, ciężarowy, bądź autobus) zdolny do przejęcia od kierowcy części zadań związanych z jazdą
- pojazd autonomiczny – w pełni zautomatyzowany pojazd, posiadający technologię zdolną do przejęcia wszystkich obowiązków kierowcy bez jakiegokolwiek ingerencji człowieka

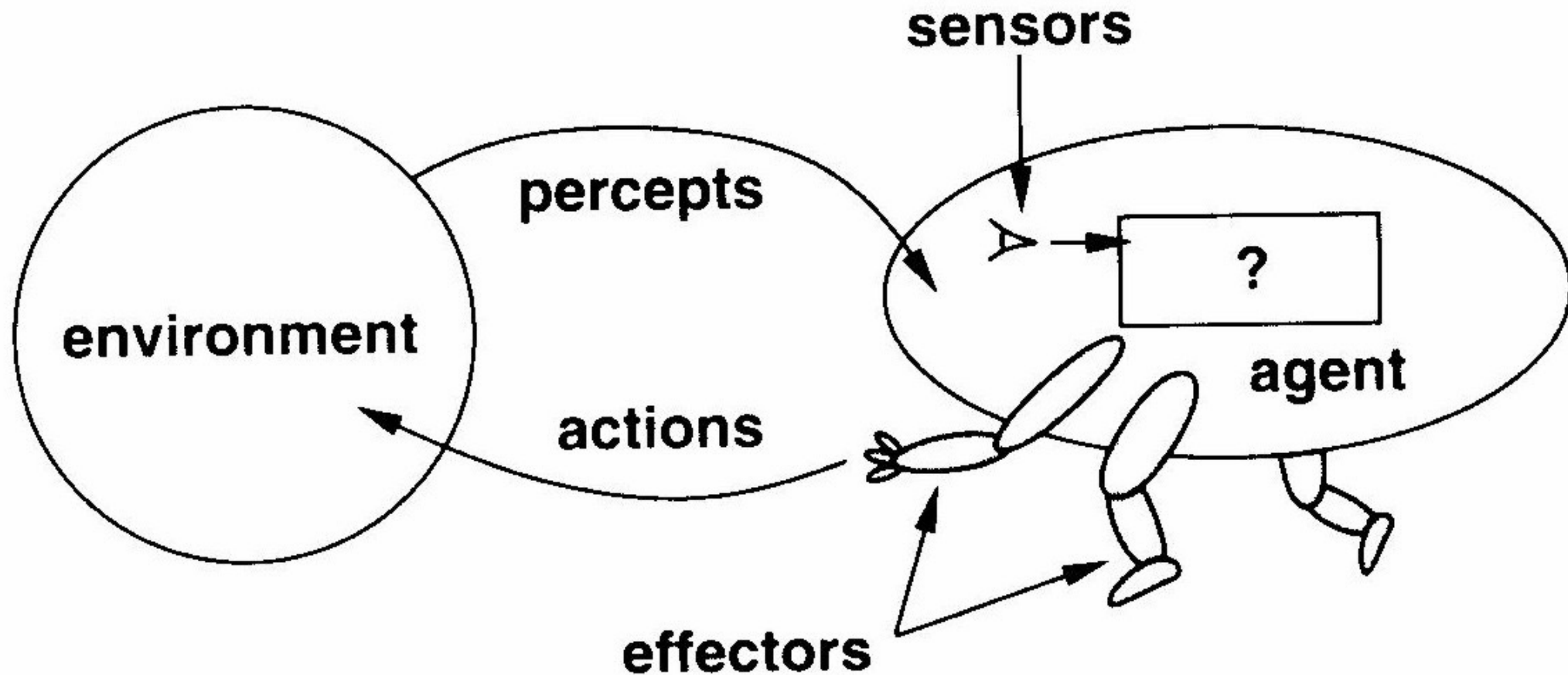
Geneza



[John Deere, 2022]

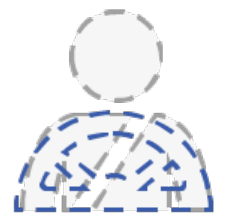
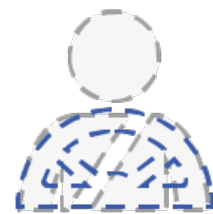


Inteligentny agent mobilny



[Russel & Norvig: Artificial intelligence – A modern approach. Pearson Education, 2016]

Poziomy autonomii pojazdów samochodowych



0

No Automation

Zero autonomy; the driver performs all driving tasks.

1

Driver Assistance

Vehicle is controlled by the driver, but some driving assist features may be included in the vehicle design.

2

Partial Automation

Vehicle has combined automated functions, like acceleration and steering, but the driver must remain engaged with the driving task and monitor the environment at all times.

3

Conditional Automation

Driver is a necessity, but is not required to monitor the environment. The driver must be ready to take control of the vehicle at all times with notice.

4

High Automation

The vehicle is capable of performing all driving functions under certain conditions. The driver may have the option to control the vehicle.

5

Full Automation

The vehicle is capable of performing all driving functions under all conditions. The driver may have the option to control the vehicle.



Prognozy w 2017 r.

- Do 2020 r. na drogi wyjedzie 10 milionów autonomicznych pojazdów
- Za 10 lat w pełni autonomiczne pojazdy staną się normą
- Samochody autonomiczne wygenerują 7 bilionów dolarów rocznych przychodów do 2050 roku
- Powszechne przyjęcie samochodów autonomicznych mogłoby doprowadzić do 90% redukcji wypadków z udziałem pojazdów drogowych

Czym jest wirtualna teleportacja (jak ją rozumiemy)?

Wirtualna teleportacja (VT=*Virtual Teleportation*) to funkcjonalność innowacyjnych interfejsów użytkownika, pozwalająca na pełną immersję użytkownika w otoczeniu oddalonym od jego miejsca aktualnego przebywania, a więc na wytworzenie wrażenia odbieranego przez zmysły tego użytkownika, jak gdyby był on fizycznie obecny w tym środowisku i mógł tam osobiście w sposób bierny lub czynny realizować różnorodne działania.

W rozwijanych przez nas zastosowaniach stosujemy VT w rzeczywistej skali czasu!

Autonomia + VT

Przykład trudnej sytuacji dla systemu autonomicznego

11



<https://www.youtube.com/watch?v=-R0G6vPsOs0>

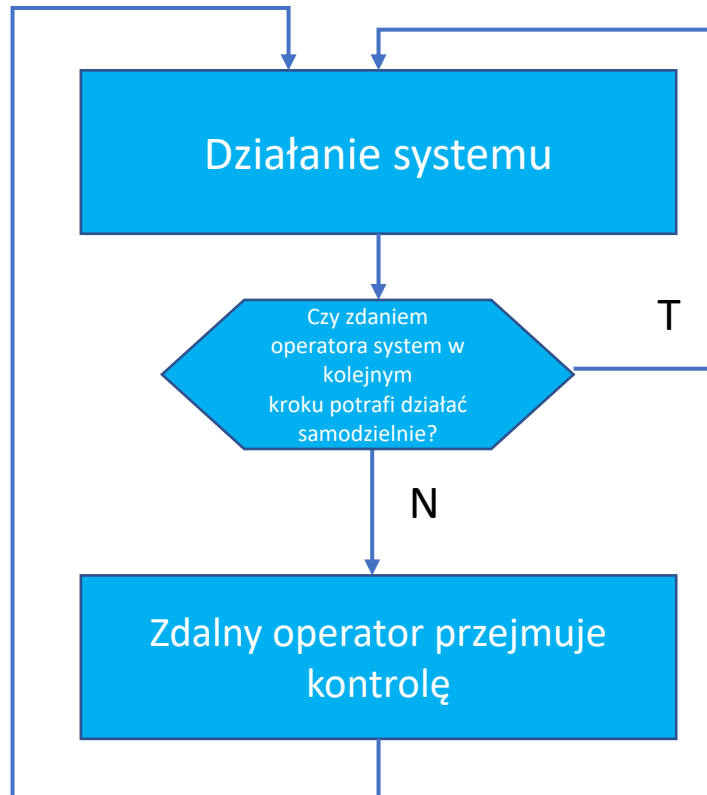


Autonomia – uwagi ogólne

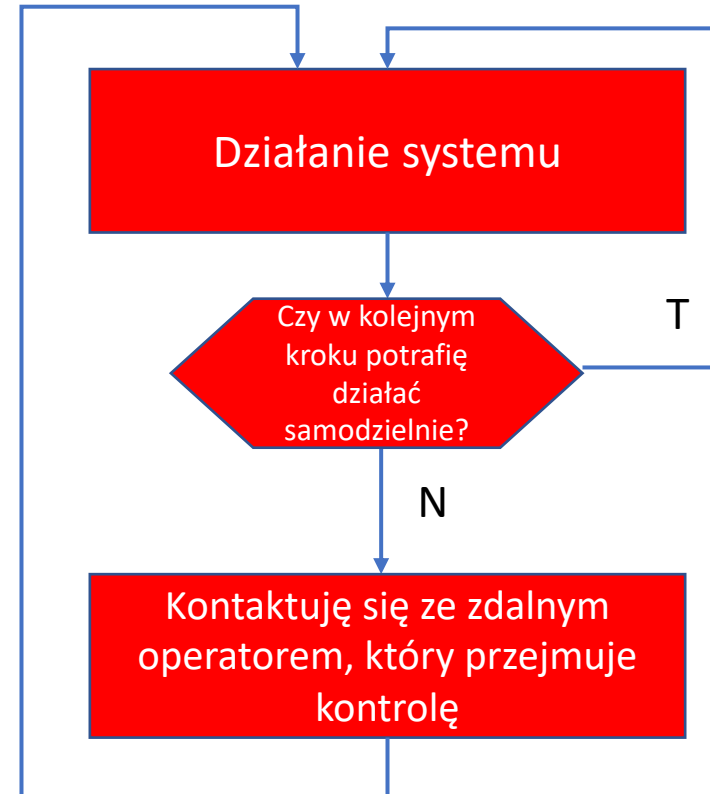
- Autonomia dotyczy każdej klasy systemów automatyki i robotyki:
 - Autonomiczny system laboratoryjny
 - Autonomiczny ciągnik rolniczy
 - Autonomiczny BSP
 - Autonomiczny łazik marsjański
- Ogólnie autonomia dotyczy sterowania (poszerzonego o podejmowanie decyzji)

System autonomiczny + VT

Wersja pasywna



Wersja aktywna



Detekcja zbyt trudnej sytuacji/problemu



Uwagi ogólne

- Zbyt trudną do rozwiązania przez system autonomiczny sytuację/problem można interpretować jako szczególny przypadek błędu
- Detekcja wsparta bazą wiedzy
- Warianty:
 - Reaktywny (sytuacja, w której aktualnie się znajduję, przekracza możliwości rozwiązania w trybie autonomicznym)
 - Prognostyczny (sytuacja, w której znajdę się za chwilę, przekroczy możliwości rozwiązania w trybie autonomicznym)

Reguły działania - wariant reaktywny na stan wewnętrzny

Stan
wewnętrzny
robota



Sposób
działania
robota

Stan
wewnętrzny
robota

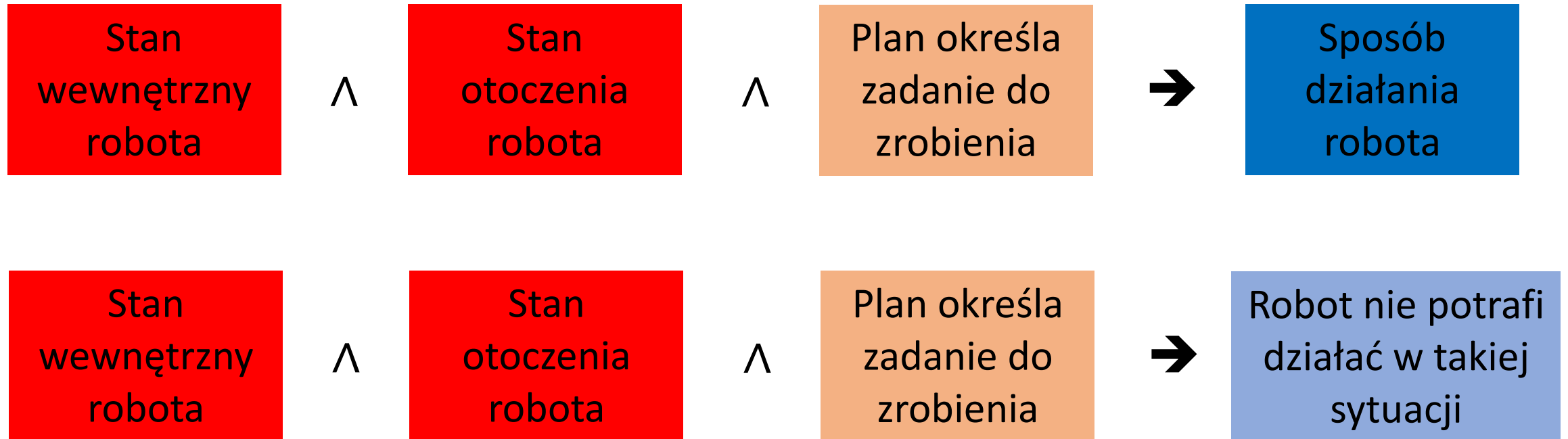


Robot nie potrafi
działać w takiej
sytuacji

Reguły działania - wariant reaktywny



Reguły działania - wariant prognostyczny

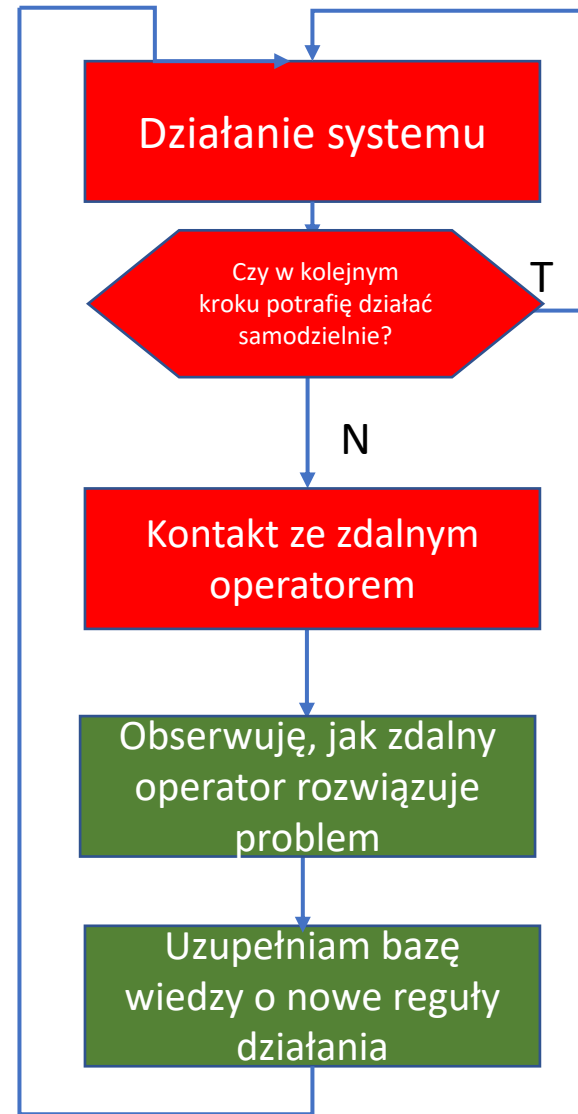


Ogólny algorytm detekcji

Dane: <CSW=cechy stanu wewn>, [<CO=cechy otoczenia>], [<P=plan>]

```
While (EndOfOperation) {
  Match=false;
  for (RuleID=1, NoOfRules)
  if (MATCH (RulePremise [RuleID], CSW, CO, P)) {
    DO_Action (RuleID);           // Action może być CALL_EXT_OPERATOR
    UPDATE (CSW, CO);
    Match=true;
    break;
  }
  if ( ¬ Match) CALL_EXT_OPERATOR;
}
```

System uczący



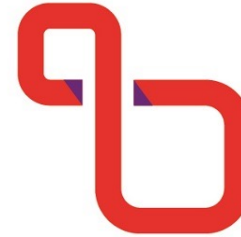
Autonomia + VT w prowadzonych badaniach

Autonomous electric microbus adapted to move in platooning mode with intelligent passenger information system

22



Politechnika
Śląska



UCZELNIA
BADAWCZA
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI



EXEON



AUTONOMOUS
SYSTEMS

THE GOAL AND MODEL VERSION OF BUS (TRL6)

Autonomous electric microbus adapted to move in platooning mode with intelligent passenger information system

23



Source: Blees Ltd



Autonomous electric microbus adapted to move in platooning mode with intelligent passenger information system

24



Autonomous electric microbus adapted to move in platooning mode with intelligent passenger information system

25



Wstępna weryfikacja eksperymentalna

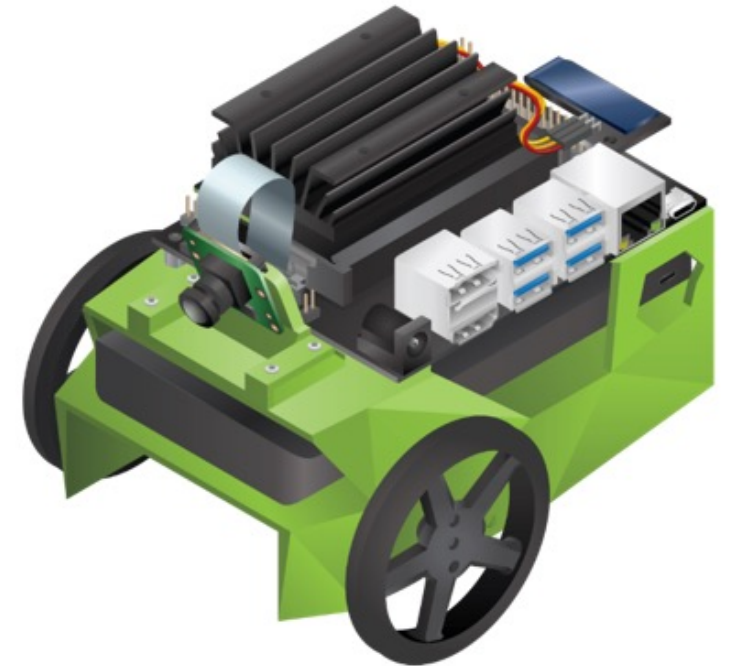


Założenia odnośnie eksperymentu

- Dobrać środowisko umożliwiające zasymulowanie sytuacji krytycznych dla sterowania autonomicznego robota
- Opracować system umożliwiający przetestowanie wielu sytuacji krytycznych przy użyciu różnych technik
- Znaleźć otwarty, darmowy system sterowania autonomicznego pozwalający na dowolne przeprogramowanie w celu dopasowania do projektu

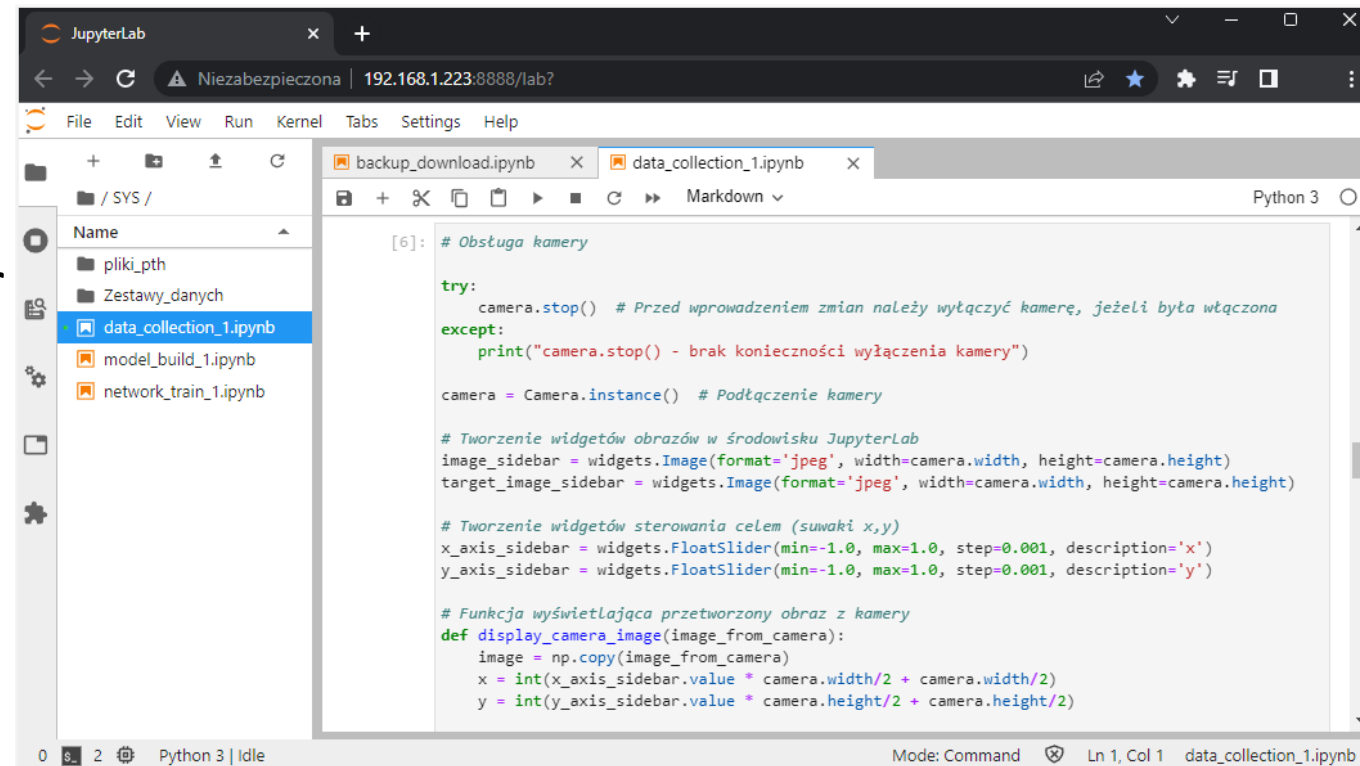
Specyfikacja agenta

- Nvidia Jetbot zaprojektowany jako platforma prototypowa dla pracy przy systemach sztucznej inteligencji przez firmę Nvidia
- Robot mobilny wyposażony jest w dwa niezależnie napędzane koła, akumulator, kamerę z szerokokątnym obiektywem oraz platformę obliczeniową Nvidia Jetson Nano Development Kit (mikrokomputer działający jako serwer, posiada interfejs Wi-Fi)
- Posiada obszerną dokumentację wraz z przykładami oraz szerokie wsparcie społeczności programistów



Sposób programowania agenta

- Nvidia JetBot posiada możliwość zdalnego programowania
- Raz skonfigurowany system po podłączeniu do sieci uruchamia serwer JupyterLab który daje dostęp do narzędzi programistycznych z poziomu przeglądarki komputera z dowolnego miejsca na ziemi
- Zalecany językiem programowania jest Python



```
[6]: # Obsługa kamery

try:
    camera.stop() # Przed wprowadzeniem zmian należy wyłączyć kamerę, jeżeli była włączona
except:
    print("camera.stop() - brak konieczności wyłączenia kamery")

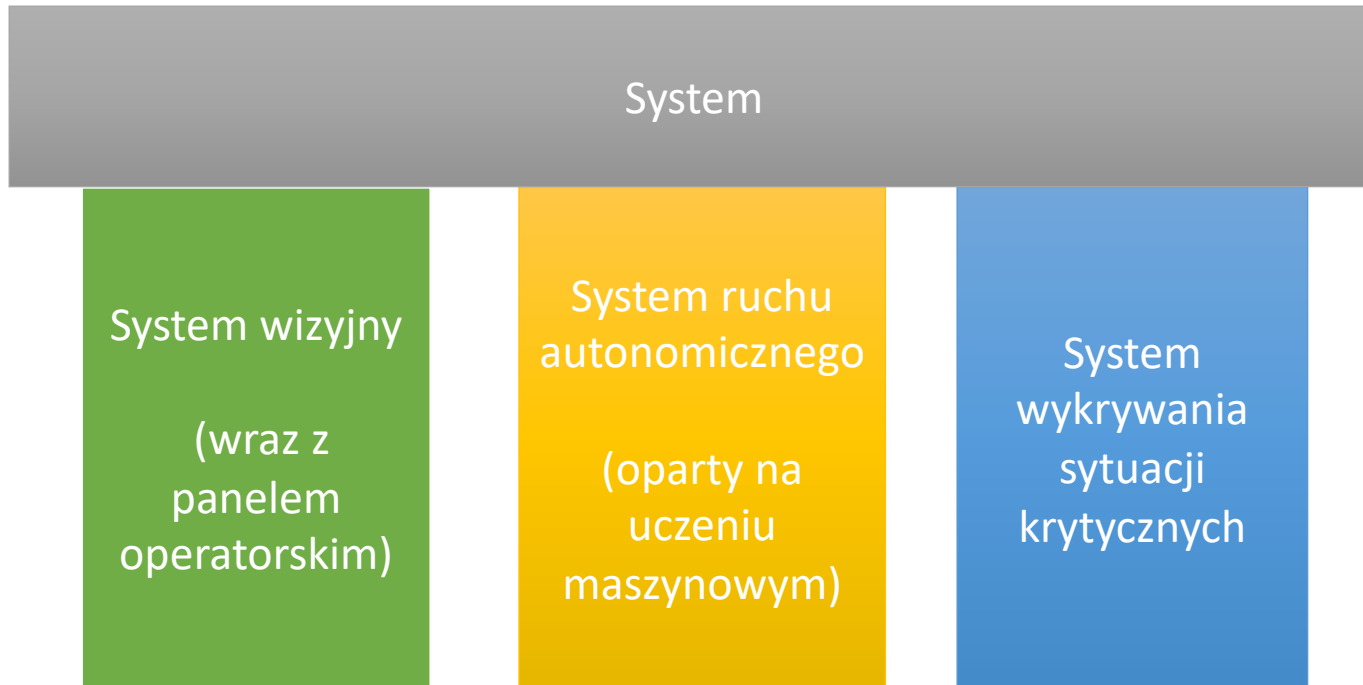
camera = Camera.instance() # Podłączenie kamery

# Tworzenie widgetów obrazów w środowisku JupyterLab
image_sidebar = widgets.Image(format='jpeg', width=camera.width, height=camera.height)
target_image_sidebar = widgets.Image(format='jpeg', width=camera.width, height=camera.height)

# Tworzenie widgetów sterowania celem (suwaki x,y)
x_axis_sidebar = widgets.FloatSlider(min=-1.0, max=1.0, step=0.001, description='x')
y_axis_sidebar = widgets.FloatSlider(min=-1.0, max=1.0, step=0.001, description='y')

# Funkcja wyświetlająca przetworzony obraz z kamery
def display_camera_image(image_from_camera):
    image = np.copy(image_from_camera)
    x = int(x_axis_sidebar.value * camera.width/2 + camera.width/2)
    y = int(y_axis_sidebar.value * camera.height/2 + camera.height/2)
```

Koncepcja systemu wspomagania

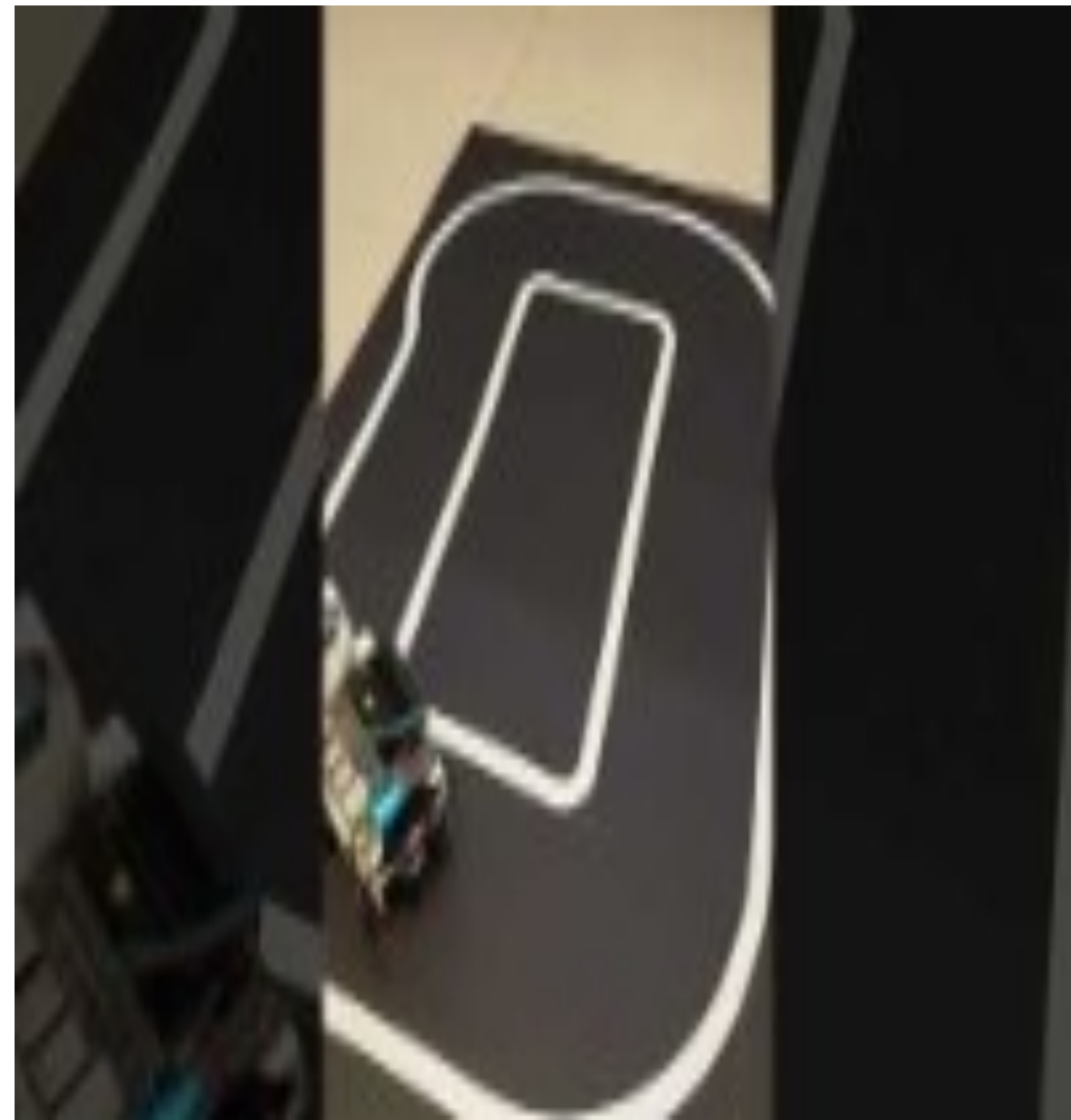


- Podział koncepcji na trzy główne filary
- Systemy działają niezależnie, jako trzy programy, komunikując się między sobą
- System wizyjny odpowiada za odbiór danych z kamery oraz wstępne ich przetwarzanie (tj. detekcję linii) oraz dostarczenie danych do innych systemów. Do jego zadań można dołączyć również kontakt z operatorem.
- Najważniejszym, z punktu widzenia badań, systemem jest system wykrywania sytuacji krytycznych

System autonomiczny

- Zadaniem systemu jest wykonywanie ruchu robota w pracy normalnej. Algorytm oparty na głębokim uczeniu maszynowym odpowiada za utrzymanie robota na pasie ruchu.
- Jest to gruntowna modyfikacja jednego z przykładów systemów autonomicznych dostarczonych przez firmę Nvidia.
- Po dostarczeniu odpowiedniej ilości danych, system jest w stanie pomiędzy liniami niezależnie od kierunku jazdy, lub skomplikowania trasy.

Zestaw danych	Liczba zdjęć	Wynik
A1	98	>60s
A2	~400	?



System wykrywania sytuacji krytycznych

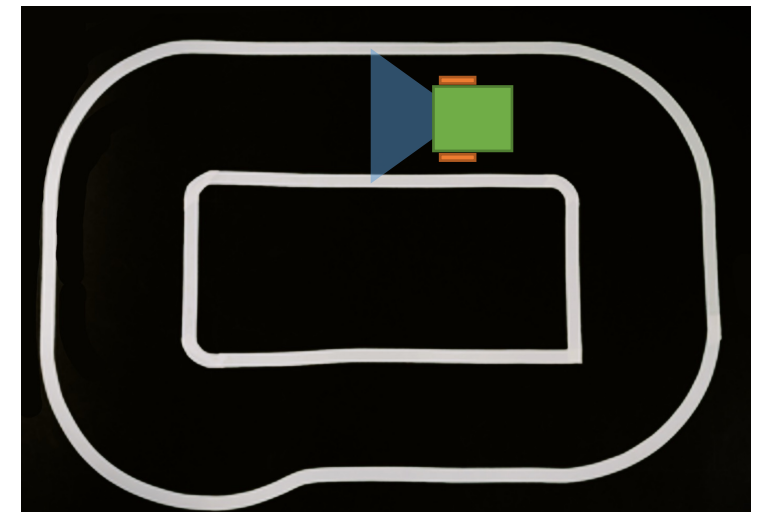
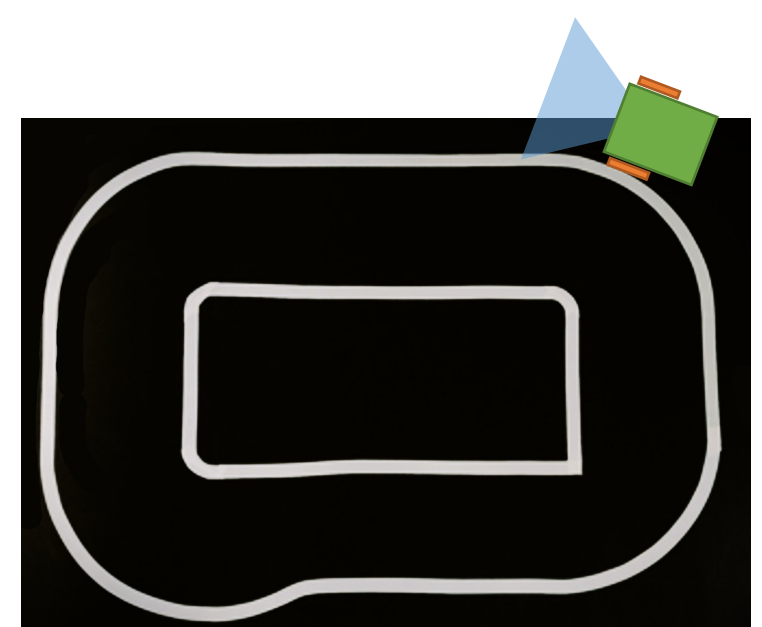
- Składa się z wielu podsystemów odpowiedzialnych za działanie w konkretnej sytuacji awaryjnej
- Podsystemy współpracują ze sobą

Sytuacja awaryjna		
Sposób symulacji	Działanie autonomiczne	Algorytm wykrycia
Przeszkoda na drodze		
Na trasie pojazdu znajduje się obiekt uniemożliwiający jej przejechanie		
Postawić obiekt na trasie w różnych położeniach względem linii	Jeżeli jest na to miejsce w ramach linii robot powinien podjechać bliżej linii i przejechać obok przeszkody. Jeżeli nie - zaalarmować operatora, który określi czy przejazd poza liniami jest bezpieczny i wykona manewr.	Sieć neuronowa wyuczona do wykrywania przeszkód i zatrzymywania się przed nimi w odpowiedniej odległości. Pomiar szerokości szczeliny za pomocą kamery. Jeżeli szerokość niewystarczająca należy wezwać operatora.
Brak pasów ruchu		
Linie wyznaczające pas ruchu nie są widoczne (np. śnieg, lub zatarcie pasów)		
Zakrycie linii na długim odcinku trasy	Alert dla operatora	Algorytm próbuje połączyć widoczne odcinki linii i sztucznie nanosi je na kamerę dla algorytmu odpowiedzialnego za ruch robota. Jeżeli występuje brak pewności, brak wykrycia krawędzi - zatrzymanie pracy.
Brak jednego z pasów ruchu		
Jedna z linii wyznaczających pas ruchu nie jest widoczna (np. śnieg, lub zatarcie pasów)		
Zakrycie jednej z linii na prostym odcinku trasy	Robot powinien trzymać się blisko linii	Wykryto tylko jedną krawędź pasa ruchu. Sterowanie przejmuje osobny algorytm sieci neuronowej odpowiedzialnej za ruch w tej sytuacji.



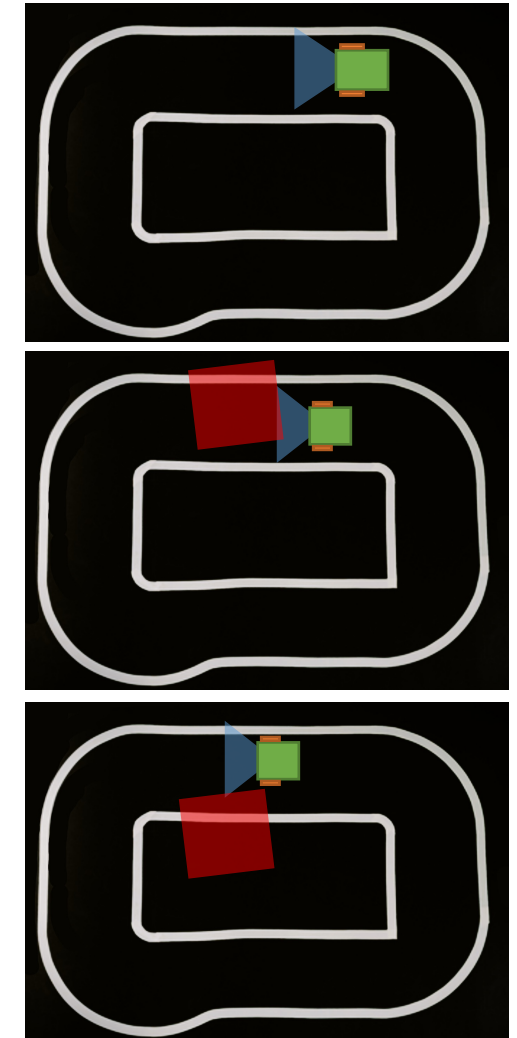
System wykrywania sytuacji krytycznych

Sytuacja awaryjna		
Sposób symulacji	Działanie autonomiczne	Algorytm wykrycia
Pojazd znajduje się poza drogą		
Przejechać w trybie ręcznym poza planszę	Tak jak w wypadku braku pasów ruchu, alert dla operatora	System wizyjny nie wykrywa krawędzi pasa ruchu – zatrzymanie pracy.
Zbyt długi czas przejazdu		
Wykonanie pełnego okrążenia zajmuje zbyt dużo czasu (możliwe problemy z napędem)		
	Alert dla operatora	Na trasie znajduje się punkt orientacyjny który zostaje wykryty przez system wizyjny. Timer jest zerowany.
Niski poziom naładowania akumulatorów		
Jeżeli poziom naładowania akumulatorów przed skrzyżowaniem jest zbyt niski istnieje możliwość zatrzymania się pojazdu na skrzyżowaniu		
Programowe nadpisanie wartości naładowania akumulatorów	Należy wezwać operatora	



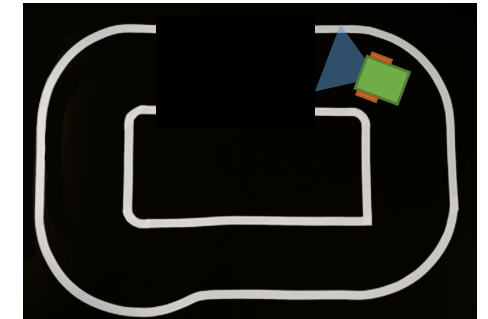
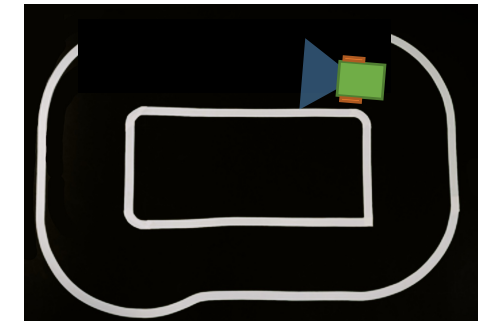
Plan eksperymentów

Nr testu	Nazwa	Opis
Test 00	Test jazdy autonomicznej	Umieścić robota na torze pomiarowym tak aby znajdował się pomiędzy liniami toru ruchu. Uruchomić program jazdy autonomicznej. Obserwować płynność ruchu oraz zliczać najechania kołami na linie. Następnie odwrócić kierunek jazdy robota i powtórzyć obserwacje. Test wykonać co najmniej 5-krotnie dla każdego z zestawów danych uczących.
Test 01	Test wykrywania przeszkód (bez możliwości przejazdu obok przeszkody)	Umieścić robota na torze pomiarowym, uruchomić system jazdy autonomicznej. Na dowolnym odcinku trasy postawić przeszkodę w taki sposób aby robot nie mógł zmieścić się pomiędzy liniami a przeszkodą. Sprawdzić czy robot zatrzyma się przed przeszkodą oraz zaalarmuje operatora. Następnie przenieść przeszkodę w inne miejsce, robot powinien ruszyć i dojechać do następnej przeszkody. Test powtórzyć co najmniej 5-krotnie.
Test 02	Test wykrywania przeszkód (z możliwością przejazdu obok przeszkody)	Umieścić robota na torze pomiarowym, uruchomić system jazdy autonomicznej. Na dowolnym odcinku trasy postawić przeszkodę w taki sposób aby robot mógł zmieścić się pomiędzy liniami a przeszkodą. Sprawdzić czy robot zatrzyma się przed przeszkodą oraz wykona manewr omijania w ramach toru jazdy. Następnie przenieść przeszkodę w inne miejsce. Test powtórzyć co najmniej 5-krotnie.



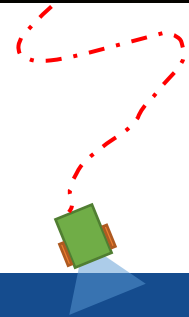
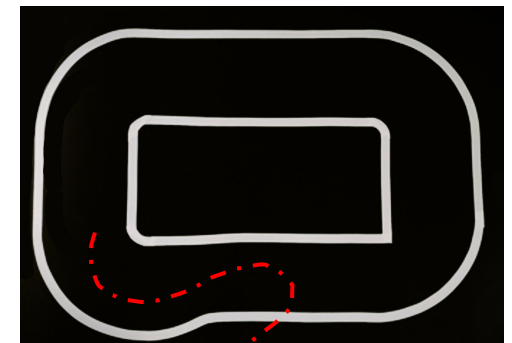
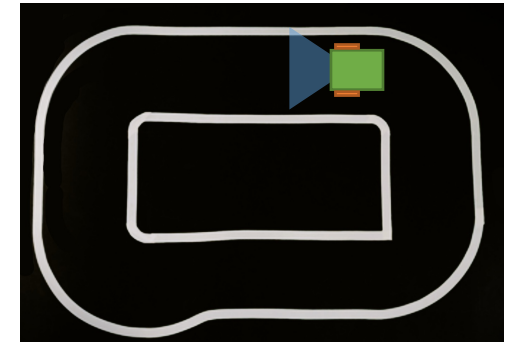
Plan eksperymentów

Nr testu	Nazwa	Opis
Test 03	Test wykonywania ruchu bez jednej z linii pasa ruchu	Umieścić robota na torze pomiarowym, uruchomić system jazdy autonomicznej. Zakryć jedną z linii pasa ruchu kartką w kolorze jezdni. Robot powinien wykonać manewr ruchu wzdłuż toru ruchu. Test powtórzyć co najmniej 5-krotnie dla różnych miejsc na torze pomiarowym.
Test 04	Test wykonywania ruchu bez dwóch linii pasa ruchu na odcinku prostym	Umieścić robota na torze pomiarowym, uruchomić system jazdy autonomicznej. Zakryć prosty odcinek trasy kartką w kolorze jezdni. Robot powinien wykonać manewr ruchu tylko jeżeli jest pewny że jedzie w dobrym kierunku, kamera musi dostrzegać linie poza odcinkiem zakrytym i dostarczać informacje o destynacji. Jeżeli kamera nie wykrywa destynacji, robot powinien zatrzymać się oraz zawiadomić operatora. Test powtórzyć co najmniej 5-krotnie.
Test 05	Test wykonywania ruchu bez dwóch linii pasa ruchu na zakręcie	Umieścić robota na torze pomiarowym, uruchomić system jazdy autonomicznej. Zakryć prosty odcinek trasy kartką w kolorze jezdni. Robot powinien wykonać manewr ruchu tylko jeżeli jest pewny że jedzie w dobrym kierunku, kamera musi dostrzegać linie poza odcinkiem zakrytym i dostarczać informacje o destynacji. Jeżeli kamera nie wykrywa destynacji, robot powinien zatrzymać się oraz zawiadomić operatora. Test powtórzyć co najmniej 5-krotnie.



Plan eksperymentów

Nr testu	Nazwa	Opis
Test 06	Wykrywanie zbyt długiego czasu okrężenia	Umieścić robota na torze pomiarowym, uruchomić system jazdy autonomicznej. Robot powinien zmierzyć czas przejazdu jednego okrężenia trasy. Na prostym odcinku podnieść robota na kilka sekund. Jeżeli czas przejazdu będzie poza dopuszczalnymi granicami zawiadomić operatora. Test powtórzyć co najmniej 5-krotnie.
Test 07	Zgubienie trasy	Umieścić robota na torze pomiarowym, uruchomić system jazdy autonomicznej. Wymusić na robocie wyjechanie poza trasę. Można to zrobić przechodząc chwilowo w tryb ręczny lub fizycznie przesunąć robota. Gdy robot znajdzie się poza trasą natychmiastowo powinien zatrzymać się oraz zawiadomić operatora. Test powtórzyć co najmniej 5-krotnie.



Kryteria oceny poprawności działania

System	Nr testu	Kryterium	Ocena/ jednostka
System ruchu autonomicznego	Test 00	Najmniejszy czas ruchu po torze bez zgubienia trasy	sekundy
System ruchu autonomicznego	Test 00	Płynność ruchu	0 – 5 (subiektywna)
System ruchu autonomicznego	Test 00	Najechanie kołami na linie	Suma zdarzeń
System wykrywania sytuacji krytycznych (przeszkody)	Test 01	Niepoprawne zatrzymanie się przed przeszkodą (np. zderzenie, wyjechanie poza tor)	Suma zdarzeń
System wykrywania sytuacji krytycznych (przeszkody)	Test 02	Niepoprawne wykonanie manewru omijania (np. kolizja, wyjechanie poza tor)	Suma zdarzeń

Kryteria oceny poprawności działania

System	Nr testu	Kryterium	Ocena/ jednostka
System wykrywania sytuacji krytycznych (brak jednej z linii)	Test 03	Niepoprawne wykonanie manewru (np. wyjechanie poza tor)	Suma zdarzeń
System wykrywania sytuacji krytycznych (brak linii)	Test 04	Niepoprawne wykonanie manewru (np. wyjechanie poza tor)	Suma zdarzeń
System wykrywania sytuacji krytycznych (brak linii)	Test 05	Niepoprawne wykonanie manewru (np. wyjechanie poza tor)	Suma zdarzeń
System wykrywania sytuacji krytycznych	Testy 01-07	Czas pomiędzy momentem wystąpienia sytuacji awaryjnej do reakcji (np. zatrzymanie robota)	sekundy
System wykrywania sytuacji krytycznych	Testy 01-07	Niepoprawne zaalarmowanie operatora (brak komunikatu, zbyt wczesne zaalarmowanie – robot sam wyszedł z sytuacji krytycznej)	Suma zdarzeń

Podsumowanie i wnioski

Oдноśnie autonomii działania

- Możliwość autonomicznego działania wymaga odpowiedniej wiedzy dostępnej dla systemu sterowania
- Podczas działania systemu autonomicznego mogą wystąpić warunki (spowodowane stanem wewnętrznym autonomicznego agenta, stanem jego otoczenia, lub złożonością zadania do wykonania), kiedy system autonomiczny nie jest w stanie działać autonomicznie
- Wirtualna teleportacja jest techniką ułatwiającą zdalnemu operatorowi wyprowadzenie agenta ze zbyt trudnej sytuacji

Podziękowania

Przedstawione wyniki badań były częściowo realizowane w ramach:

- Projektu RFCR-CT-2014-00002 TeleRescuer „System for virtual TELEportation of RESCUER for inspecting coal mine areas affected by catastrophic events” (SkyTech Research – obecnie AuRoVT) finansowanego przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali UE
- Projektu 3120/FBWS/2014/2 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (SkyTech Research – obecnie AuRoVT)
- Projektu LEADER „Long-endurance UAV for collecting air quality data with high spatial and temporal resolutions” - grant NOR/POLNOR/LEPoUAV/0066/2019-00 finansowanego przez Norweski Mechanizm Finansowy w ramach programu „Badania Stosowane”
- Pracy dyplomowej magisterskiej pt. „System wspomaganie autonomicznego agenta w krytycznych sytuacjach” realizowanej przez inż. Patryka Mielniczka pod opieką prof. Wojciecha Moczulskiego



DZIĘKUJEMY ZA UWAGĘ



Wojciech Moczulski
Patryk Mielniczek



+48 32 237 1028
+48 660 840 230



E-mail

wojciech.moczulski@polsl.pl
wojciech.moczulski@uovt.pl
patrmie304@student.polsl.pl