



UNIWERSYTET
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU

Wydział Fizyki, Astronomii
i Informatyki Stosowanej

Wybrane aspekty pojazdów autonomicznych

Wprowadzenie

Rafał Szczepański

e-mail: szczepi@umk.pl

www.umk.pl/~szczepi

29.04.2025



Plan prezentacji

- Sprawy organizacyjne
- Podstawowe pojęcia
- Rys historyczny
- Wymagania
- Przykładowe realizacje i zastosowania



Zakres wykładu

1. Wstęp

- podstawowe pojęcia
- rys historyczny
- wymagania
- przykładowe realizacje i zastosowania

2. Czujniki

- czujniki dotykowe
- pomiar położenia
- czujniki bezwładnościowe
- pomiar odległości
- czujniki wizyjne

3. Nawigacja i planowanie trajektorii

- lokalizacja
- obliczanie pozycji z odometrii
- pomiary bezwładnościowe
- lokalizacja na podstawie radaru
- punkty orientacyjne
- GPS
- mapy
- mapy metryczne i topologiczne
- siatki i mapy hybrydowe
- planowanie trajektorii

4. Wybrane architektury sterowania

- hierarchiczna, zorientowana zadaniowo
- zadaniowa
- zintegrowana zadaniowa

5. Przykładowe oprogramowanie

- Robot Operating System
- Matlab

6. Aspekty prawne

- dostosowanie przepisów
- odpowiedzialność prawna

7. Kierunki rozwoju

- sztuczna inteligencja
- sieci pojazdów



Literatura do wykładu

1. Hong Cheng, Autonomous Intelligent Vehicles Theory, Algorithms, and Implementation, Springer-Verlag London Limited 2011, ISBN 978-1-4471-2279-1
2. Karsten Berns, Ewald von Puttkamer, Autonomous Land Vehicles, 1st ed. Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009, ISBN 978-3-8348-0421-1
3. Anthony Finn, Steve Scheduling, Developments and Challenges for Autonomous Unmanned Vehicles, A Compendium, 2010 Springer- Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-10703-0
4. Ingemar J. Cox, Gordon T. Wilfong, Autonomous Robot Vehicles, 1990 AT&T, ISBN-13: 978-1-4613-8999-6
5. Choromański, Włodzimierz, et al. Pojazdy autonomiczne i systemy transportu autonomicznego. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2020.



Warunki zaliczenia

USOS

Egzamin pisemny zawierający pytania otwarte.

Egzaminacyjna sesja letnia: 17-29 czerwca

Termin egzaminu: ???

Wykład odbywają się co tydzień!

Rys historyczny

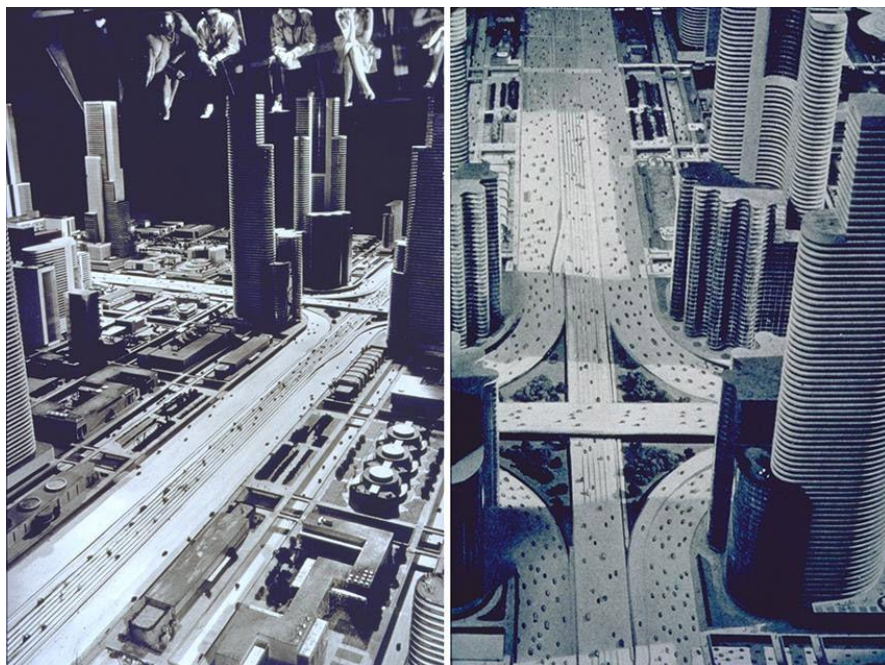
1925 rok – Firma Houdina Radio Control Co. zaprezentowała radiowo sterowany samochód „American Wonder” (środkowy samochód na zdjęciu), który przejechał ulicami Nowego Jorku. Był on sterowany z pojazdu jadącego tuż za nim.



Rys historyczny

1939 rok – Firma General Motors zasponsorowała wystawę Bel Geddesa na Targach Światowych, która prezentowała radiowo sterowane samochody elektryczne napędzane przez pola elektromagnetyczne dostarczane przez obwody wbudowane w jezdnię.

1940 rok – Bel Gaddes przedstawił swoją wizję w książce *Magit Motorways* promując postępy w projektowaniu autostrad i transporcie. Zapowiedział system autostrad międzystanowych. Ponadto, uważał, że ludzie powinni zostać usunięci z procesu prowadzenia pojazdów. Przewidywał, że owe postępy staną się rzeczywistością w 1960 roku.



Rys historyczny

1953 rok – RCA Labs (jedna z głównych amerykańskich firm elektronicznych w tamtych latach) stworzyła miniaturowy samochód prowadzony i sterowany poprzez przewody ułożone w odpowiedni wzór w podłodze w laboratorium. Po tym pokazie pozwolono na testy w warunkach rzeczywistych.

1957 rok – W stanie Nebraska na odcinku 400 stóp (około 122 metry) na skrzyżowaniu drogi stanowej 77 oraz autostrady Nebraska nr 2 RCA Labs zaprezentowało system w pełnej skali. Od roku 1954 firma General Motors dostarczyło dwa standardowe modele samochodów zawierające specjalne radio odbiorniki i sygnalizatory dźwiękowe i wizualne oraz umożliwiały automatyczne sterowanie osią przednią, przyspieszeniem i hamowaniem.

Lata 1950-1960 – Firma General Motors prezentuje serię Firebirds, która opisywała następującą funkcjonalność „*electronic guide system [that] can rush it over an automatic highway while the driver relaxes*„. Firma Ford zaprezentowała rozwiązania bazujące na radarze.

1959 rok – Firma General Motors demonstruje asystenta hamowania w Cadillac Cyclone (zdjęcie).



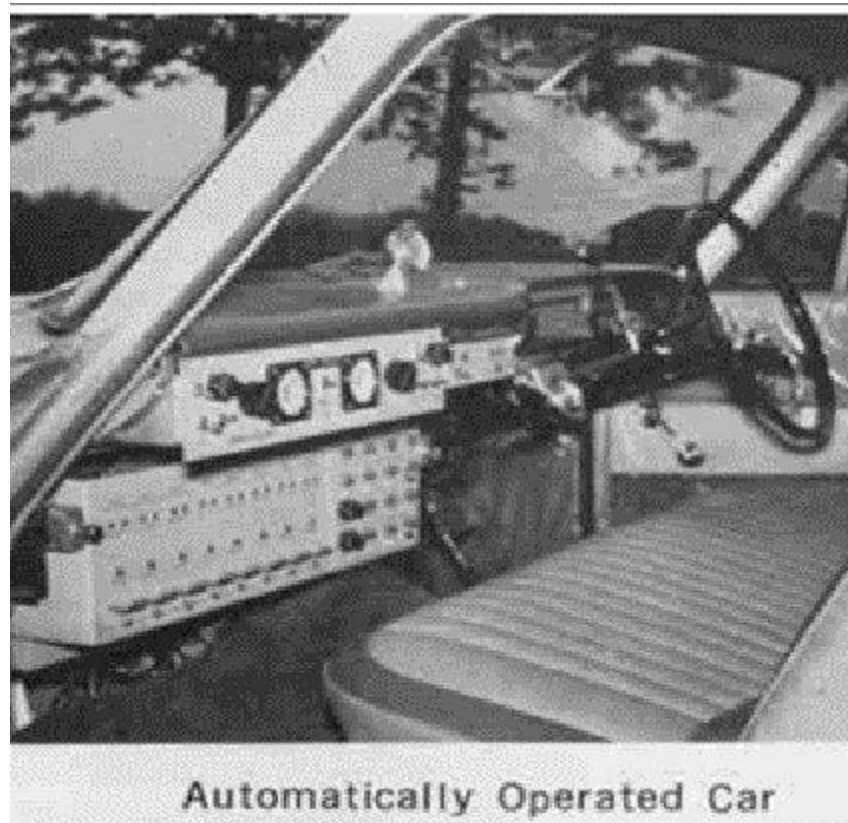
Rys historyczny

Lata 1960 – W Wielkiej Brytani Laboratorium Badań Transportu i Dróg testowało bezzałogowego Citroena DS., który wchodził w interakcję z magnetycznymi przewodami, które były wbudowane w drogę. Poruszał się z prędkością do 130 km/h niezależnie od pogody w dużo efektywniejszy sposób niż prowadziłby go człowiek.



Rys historyczny

1977 rok – Pierwszy autonomiczny samochód, który nie polegał na szynach lub przewodach wbudowanych w drogę został zaprojektowany w Japońskim Laboratorium Inżynierii Mechanicznej Tsukuba. Samochód wykorzystywał analogowe przetwarzanie sygnałów z dwóch kamer.



Rys historyczny

Lata 1980– Firma Mercedes-Benz wypuściła robotyczny VAN prowadzony wizją wspólnie z zespołem z Uniwersytetu Bundeswehr w Munich. Osiągał około 100 km/h na drodze bez ruchu ulicznego.

Lata 1987-1995 – Organizacja EUREKA przeznaczyła 749 milionów euro na projekt Prometheus prowadzący badania nad autonomicznymi pojazdami.

Lata 1980 – Finansowany przez organizację DARPA projekt Autonomous Land driven Vehicle w stanach zjednoczonych wykorzystywał najnowsze technologie opracowywane na uniwersytetach. Jako pierwsi zaproponowali pojazd wykorzystujący skanery laserowe (LiDAR) oraz analizę obrazów z algorytmami sterowania autonomicznych robotów.

1989 rok – Uniwersytet Carnegie Melon zastosował sztuczne sieci neuronowe do sterowania i podejmowania decyzji przez autonomiczne pojazdy.

Lata 1990 – w różnych projektach biorą udział firmy takie jak Toyota, Honda, Asia Motors, Jaguar Cars.

„In May 1998, Toyota became the first to introduce an Adaptive Cruise Control (ACC) system on a production vehicle when it unveiled a laser-based system for its Progres compact luxury sedan, which it sold in Japan”



Rys historyczny

2001 rok – Rząd USA sfinansował trzy militarne ruchy znane jako Demo I (Armia USA), Demo II (DARPA) oraz Demo III (Armia USA). Demo III zaprezentowało w 2001 roku możliwości bezzałogowego pojazdu jeżdżącego do pokonania wielu mil trudnego terenu (off-road) unikając przeszkód jak skały i drzewa.

2004 rok - DARPA (the Defense Advanced Research Projects Agency) zaoferowała nagrodę 1 miliona dolarów amerykańskich dla zespołu inżynierów, który stworzy autonomiczny samochód, który pokona 150 milowy odcinek drogi na pustyni Majove. Żaden zespół nie ukończył przejazdu.

2005 rok – DARPA ponownie ogłosiło konkurs (zwany the second DARPA Grand Challenge). Wprowadzono uproszczenia jak punkty GPS, przeszkody były zlokalizowane przed startem. Tym razem 5 pojazdów ukończyło trasę.

2007 rok – the third DARPA Grand Challenge w środowisku miejskim.

2008 rok - pierwszy na świecie komercyjny autonomiczny system transportu górniczego

2009 rok – Google rozpoczęło prace nad autonomicznym samochodem (bez publicznego ogłoszenia programu)

Lata 2010 – Prace nad autonomicznym pojazdem prowadzą firmy takie jak General Motors, Ford, Mercedes-Benz, Volkswagen, Audi, Nissan, Toyota, BMW, i Volvo

Rys historyczny

2010 rok – Instytut Sterowania Uniwersytetu Technicznego w Braunschweig zademonstrował pierwszy autonomiczny samochód jeżdżący po drogach publicznych w Niemczech wykorzystując prototypowy pojazd Leonie. Był to pierwszy samochód z licencją na autonomiczne poruszanie się po drogach i autostradach w Niemczech.



Rys historyczny

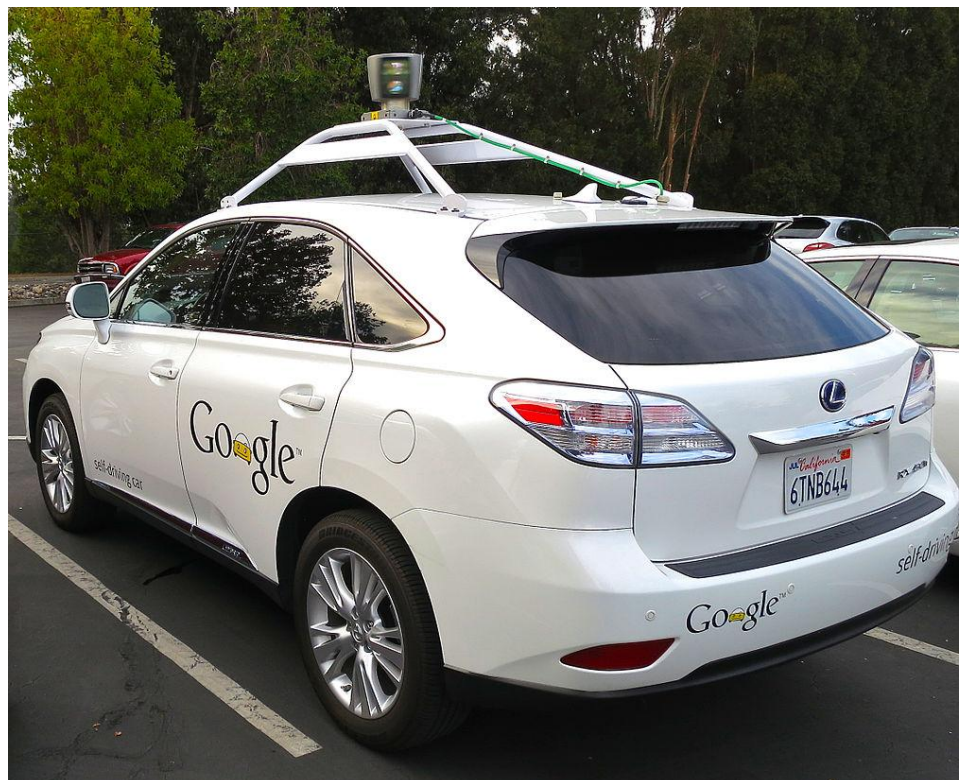
2011 rok – Wolny Uniwersytet Berliński (Freie Universität Berlin) opracował dwa autonomiczne pojazdy (Spirit of Berlin oraz MadeInGermany), które poruszały się w ruchu drogowym w Berlinie. Radziły sobie zarówno ze światłami oraz rondem.



Rys historyczny

2012 rok – Firma Volkswagen rozpoczęła testy systemu tymczasowego autopilota (TAP), który mógł przejąć kontrolę nad pojazdem na autostradzie.

1 maja 2012 roku – autonomiczny samochód firmy Google zdał egzamin przeprowadzony przez Departament Pojazdów Drogowych Stanu Nevada – nie były testowane odcinki z rondami, skrzyżowaniami ze światłami ani obszary szkół.





Rys historyczny

2013 rok – Mercedes S-klasa (rocznik 2014) posiada opcję autonomicznego utrzymania pasa ruchu, przyspieszania i hamowania, parkowania, unikania kolizji oraz wykrywania senności kierowcy. Podobne możliwości posiadał Infinity Q50 (bazując na kamerach).

Październik 2014 rok – Firma Tesla Motors ogłosiła pierwszą wersję autopilota w Model S.

2014 rok – SEA International, organizacja prowadząca standaryzację, opublikowała klasyfikację systemu o 6 stopniach autonomiczności - J3016, *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*

Marzec 2015 rok – Tesla Motors ogłosiła, że w połowie 2015 roku technologii Autopilot pozwoli na w pełni autonomiczne prowadzenie. Podczas rozmów w sprawach związanych z prawem, rzecznicy powiedzieli: *„nothing in our autopilot system that conflicts with current regulations. We are not getting rid of the pilot. This is about releasing the driver from tedious tasks so they can focus and provide better input.”*

2015 rok – rzecznik Administracji Narodowego Bezpieczeństwa Ruchu Autostradowego (National Highway Traffic Safety Administration) wypowiedział się na temat standardów i regulacji prawnych: *„any autonomous vehicle would need to meet applicable federal motor vehicle safety standards”* oraz *“(NHTSA) will have the appropriate policies and regulations in place to ensure the safety of this type of vehicles.”*



Rys historyczny

9 stycznia 2016 roku – funkcja „wzywania” samochodu z parkingu bez kierowcy w samochodzie. Autopilot nie jest w pełni autonomiczny ani nie wykrywa pieszych oraz rowerzystów.

7 maja 2016 roku – pierwszy znany **fatalny wypadek** z udziałem pojazdu, który poruszał się autonomicznie (Tesla Model S), Kierowca zginął pod kołami samochodu ciężarowego.

28 czerwca 2016 – Narodowa Administracja Bezpieczeństwa Ruchu Autostradowego otworzyła formalne śledztwo w sprawie wypadku.

Sierpień 2016 roku – Singapur uruchomił pierwsze autonomiczne taksówki dostarczone przez startup nuTonomy

2017 rok – Audi jako pierwsza firma wyposażyła samochód w LiDAR 3D w uzupełnieniu do kamer i czujników ultradźwiękowych. W 2020 roku Audi ogłosiło, że system o poziomie autonomiczności 3 nie zostanie aktywowany w samochodach.

Marzec 2018 – pierwszy **fatalny wypadek**, w którym autonomicznie sterowany samochód potrafił pieszego w USA.

Marzec 2018 roku – W Szwajcarii została uruchomiona autonomiczna linia autobusowa.

Grudzień 2018 roku – Firma Waymo wypuściła na rynek pierwszy komercyjny pojazd „robotaxi” zwany Waymo One.



Rys historyczny

2019 rok – 29 stanów USA pozwoliło prawnie na poruszanie się autonomicznych pojazdów w ruchu drogowym

2020 rok – pojawiają się pierwsze regulacje prawne związane z autonomicznymi pojazdami Regulacja EU 2019/2144, UNECE WP.29 GRVA

Październik 2020 rok – Firma Tesla Motors wypuściła wersję beta systemu Full Self-Driving dla małej grupy testerów w USA.

Marzec 2021 roku – Firma Honda rozpoczęła sprzedaż w Japonii limitowanej edycji (100 Legend Hybrid Ex) pojazdów wyposażonych w nowy system na poziomie autonomiczności 3.

Grudzień 2021 roku – Mercedes-Benz otrzymał pozwolenie na Automated Lane Keeping System (ALKS) zgodnie z regulacjami UN-R157

Maj 2022 roku – Mercedes-Benz uruchomił sprzedaż w Niemczech systemu Drive Pilot pozwalający na działanie na poziomie 3 autonomiczności (model S-klasy)

8 Czerwca 2023 roku – System Drive Pilot dostał pozwolenie na działanie na autostradach w stanie California pod specyficznymi wymaganiami



Podstawowe pojęcia

Pojazd autonomiczny (bezzałogowy) – urządzenie zdolne do wykonywania zadań, rozpoznawania otoczenia i nawigowania bez udziału człowieka.

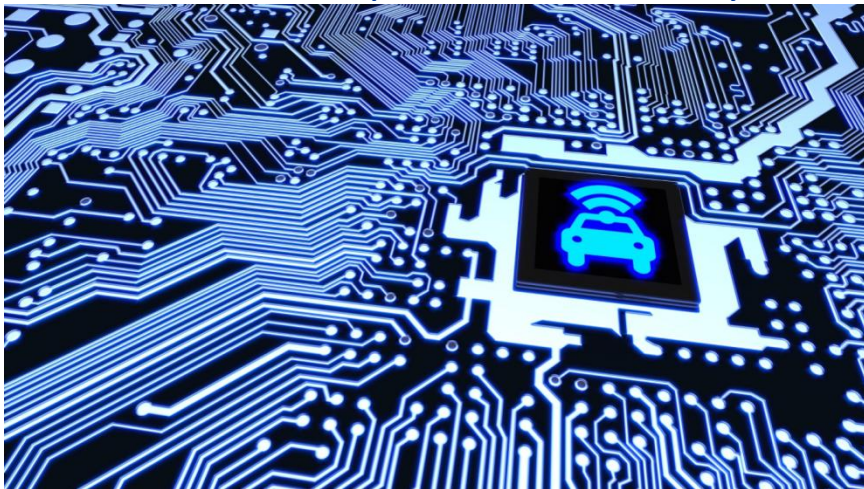
Stopnie autonomii (samochody autonomiczne):

- **Poziom 0** – człowiek w całości odpowiada za sterowanie pojazdem.
- **Poziom 1** – większość funkcji jest realizowana przez człowieka, natomiast niektóre (np. przyspieszanie, utrzymywanie prędkości) są realizowane automatycznie.
- **Poziom 2** – przynajmniej dwa systemy wspomagające człowieka (np. kierowanie i przyspieszanie/hamowanie oraz utrzymywanie toru jazdy) jest automatyczny. Oznacza to, że człowiek „jest odłączony od fizycznego prowadzenia pojazdu,” jednak musi być zawsze gotowy do przejęcia kontroli nad pojazdem.
- **Poziom 3** – człowiek jest wciąż niezbędny, natomiast nie jest zobowiązany do monitorowania otoczenia w taki sam sposób jak dla poprzednich poziomów – w określonych sytuacjach może on zrezygnować z prowadzenia pojazdu.

Podstawowe pojęcia

Stopnie autonomii (samochody autonomiczne) cd.:

- **Poziom 4** – rozumiany jako pełna autonomia pojazdu. Pojazd realizuje wszystkie (także krytyczne z punktu bezpieczeństwa) funkcje oraz monitoruje otoczenie, jednak ogranicza się do projektowania operacyjnego i nie obejmuje wszystkich możliwych scenariuszy (ang. *operational design domain*). Pojazdy z tym stopniem autonomii mogą nie mieć pedałów gazu/hamulca ani kierownicy.
- **Poziom 5** – odnosi się do pełnej autonomii, w której pojazd realizuje wszystkie zadania w sposób równoważny człowiekowi niezależnie od sytuacji.



Podstawowe pojęcia



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™

Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver's seat”		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	

Copyright © 2021 SAE International.

Źródło:

https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/

https://www.sae.org/binaries/content/assets/cm/content/blog/sae-j3016-visual-chart_5.3.21.pdf

What do these features do?

Example Features

These are driver support features

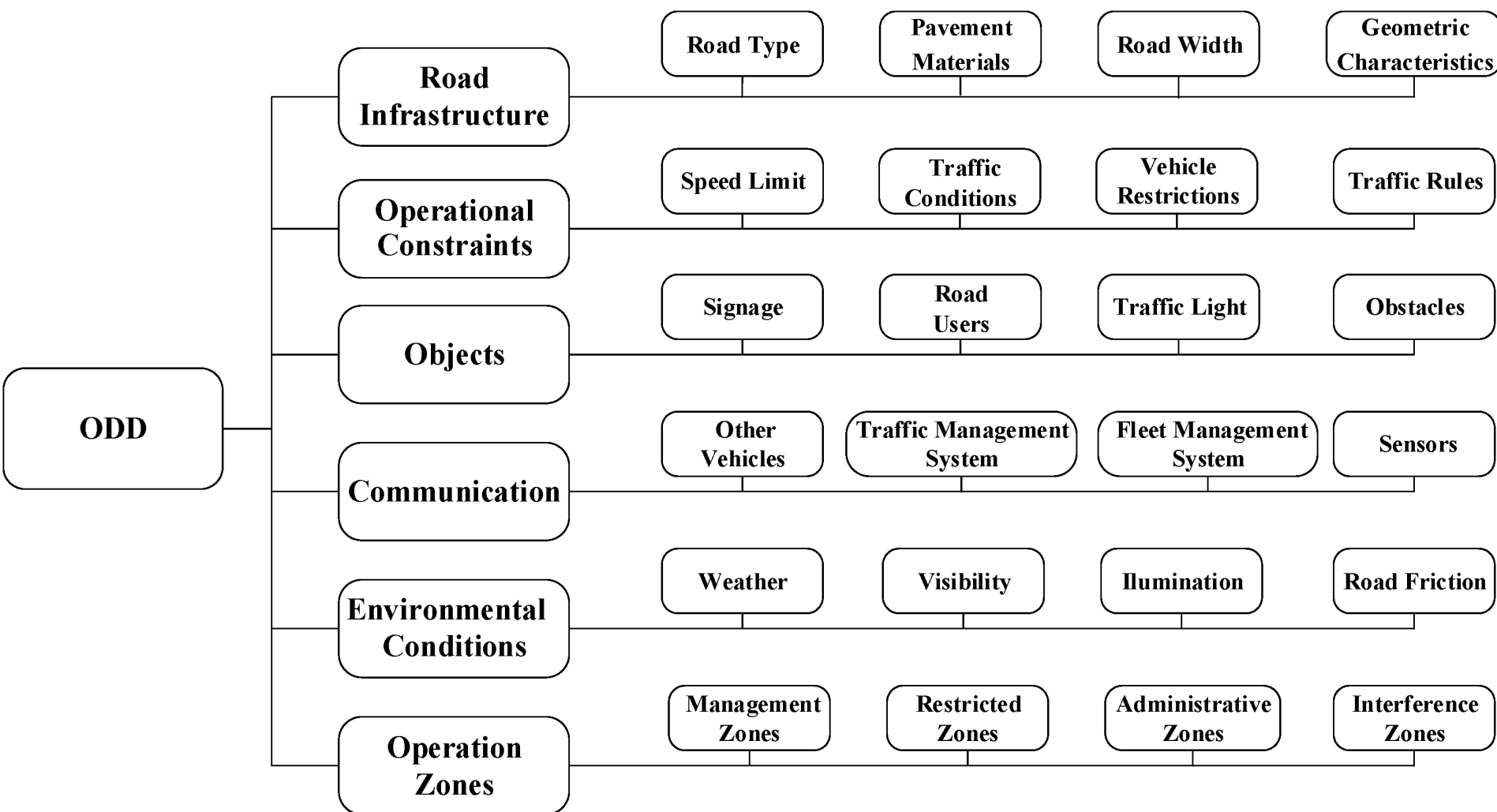
These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver
• automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning	• lane centering OR • adaptive cruise control	• lane centering AND • adaptive cruise control at the same time

These are automated driving features

These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions
• traffic jam chauffeur	• local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed
	• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

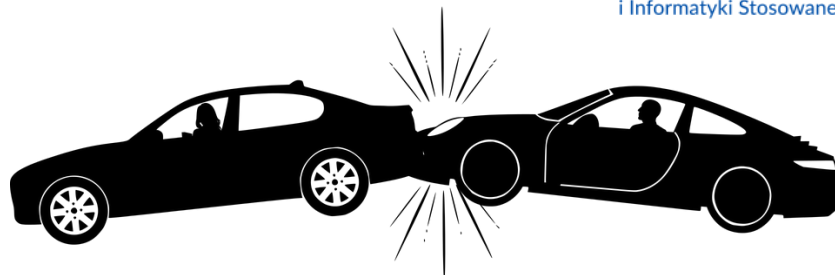
Podstawowe pojęcia

Dziedzina projektowania operacyjnego (ang. *operational design domain* – **ODD**)



Wymagania

- **Bezpieczeństwo**



- **Niezawodność**

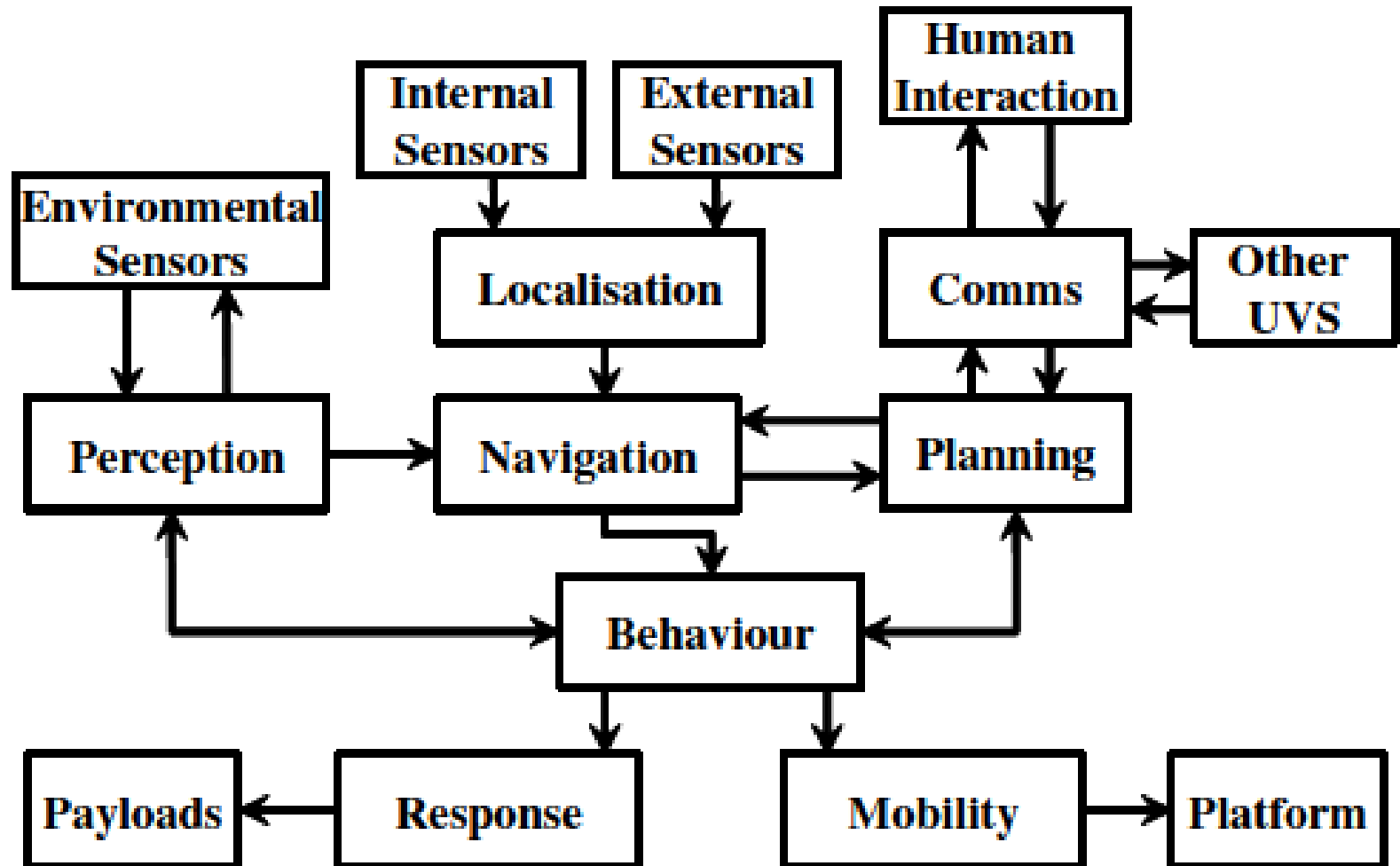


- **Uwarunkowania prawne**



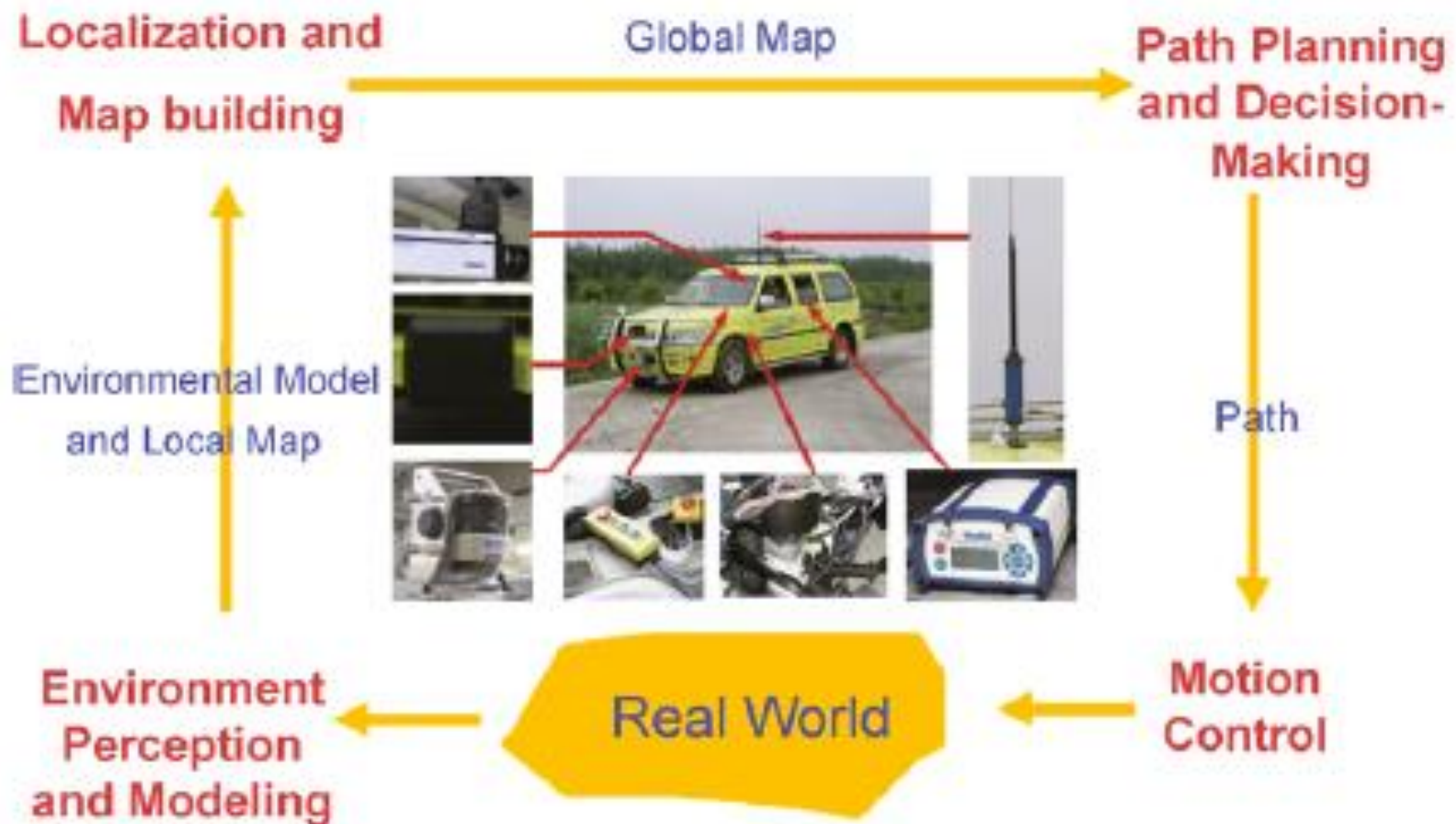
Wymagania

Zależności funkcjonalne dla pojazdu autonomicznego

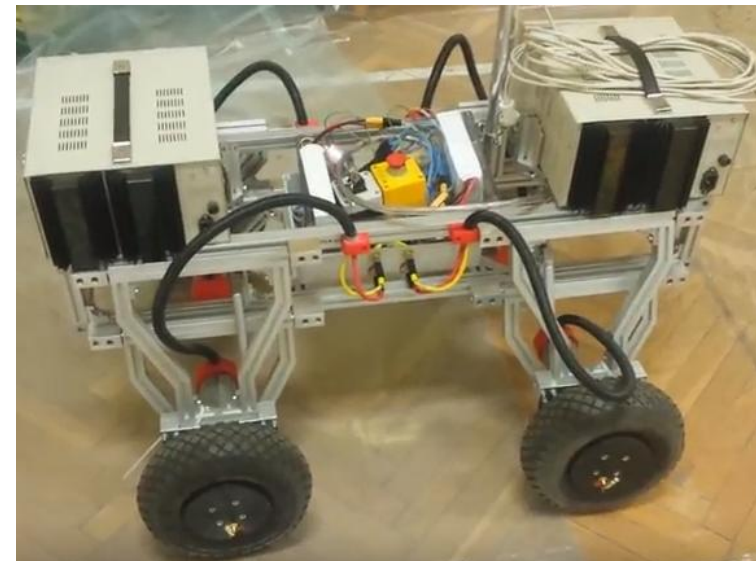


Wymagania

Zależności funkcjonalne dla pojazdu autonomicznego



Przykładowe realizacje i zastosowania



Przykładowe realizacje i zastosowania





Przykładowe realizacje i zastosowania

Pojazdy autonomiczne

- *Stellantis: L3Pilot project ITS Hamburg 2021:*

<https://youtu.be/jmFztVKnolg>

- *The first autonomous car on the streets of Paris | Valeo:*

<https://youtu.be/9mBLl6JuvsM>

- *Full Self-Driving (Tesla):*

<https://youtu.be/tlThdr3O5Qo>



Przykładowe realizacje i zastosowania

Autonomiczne roboty mobilne

- *MOBOT AGV FlatRunner MW przewożący ładunek o masie do 1,5 tony:*

<https://youtu.be/Y2GZSKJQaIY>

- *Avidbots Neo the Autonomous Floor Cleaning Robot Navigating Facilities:*

https://youtu.be/YHlvJ6u_LVM

- *MiR100 transports sterile goods at University Hospital Zealand:*

<https://youtu.be/mVreTUNKxa8>