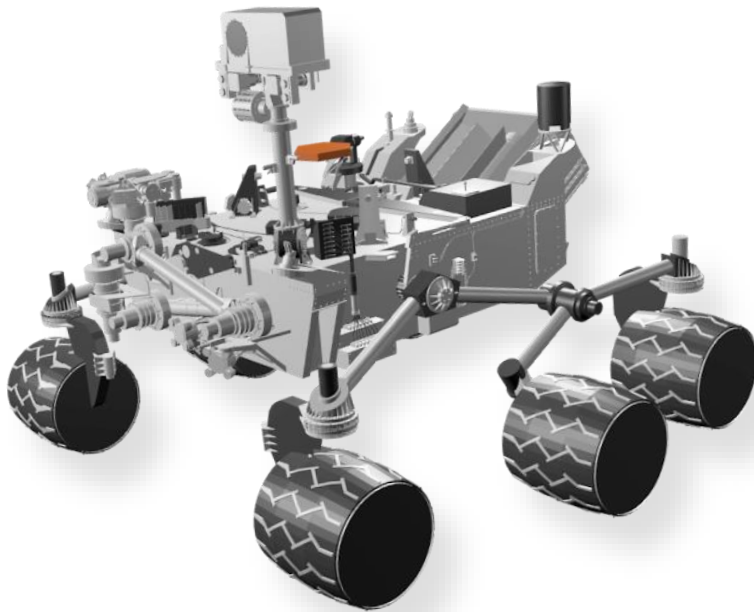


Roboty mobilne i kooperacyjne



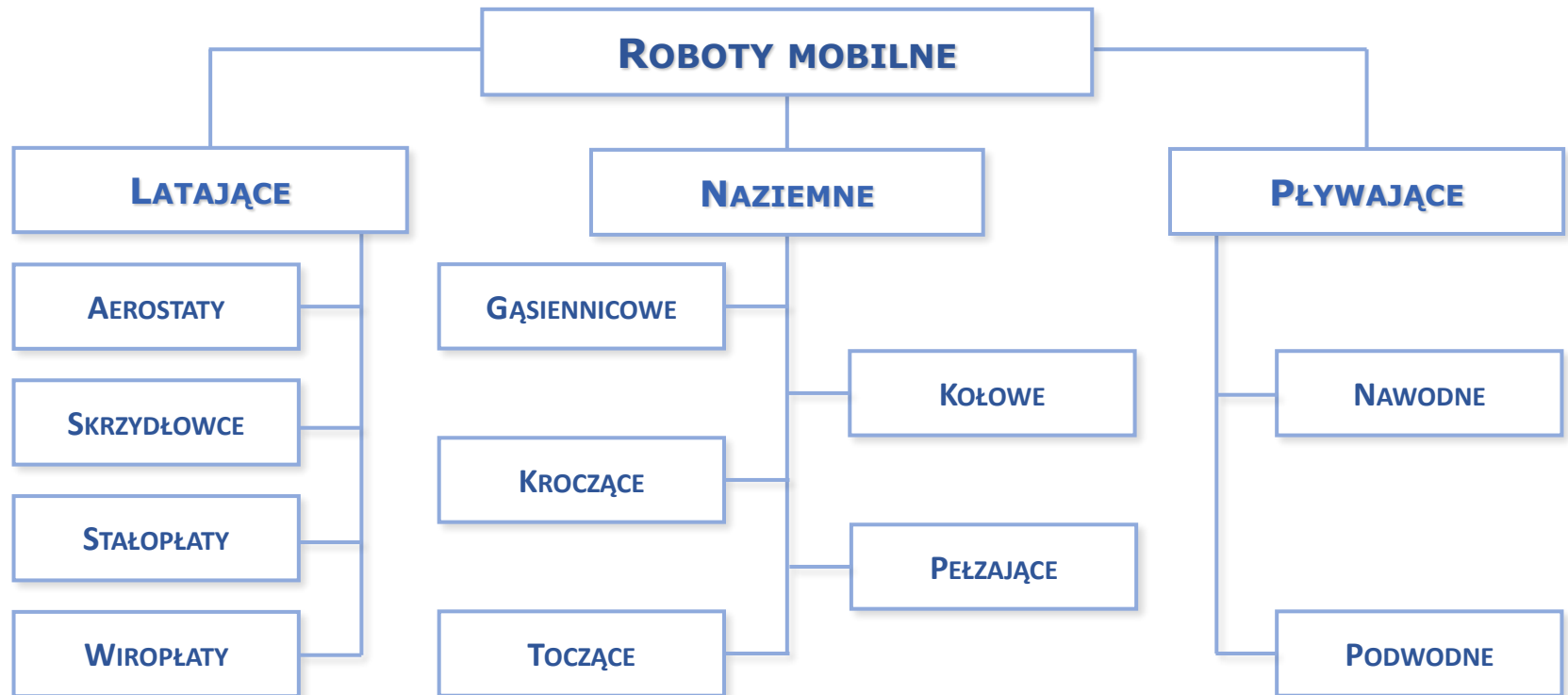
Roboty mobilne

roboty mobilne w przemyśle
parametry platform mobilnych
klasy platform mobilnych
platformy wielokołowe i manipulatory mobilne

Robot mobilny

Autonomiczne urządzenie zdolne do przemieszczania się w przestrzeni przy użyciu odpowiedniego systemu napędowego i sensorycznego, w celu wykonywania zadań w dynamicznych lub zróżnicowanych środowiskach.

Siciliano, B., Khatib, O. Springer Handbook of Robotics



Roboty kołowe



LARS: <https://www.youtube.com/watch?v=PU2kLA7tlbs>

MIR: <https://www.youtube.com/watch?v=WsOYZmcf78E>

Roboty kroczące

Boston Dynamics:

<https://youtu.be/F843AqfNsaA> (Spot)

https://youtu.be/_sBBaNYex3E (Atlas)



Roboty toczące

David Carabis:

<https://youtu.be/LmvUkbdXNbM>

Control Systems Lab

<https://www.youtube.com/watch?v=Dd0xkXaIFKc>



Roboty pełzające

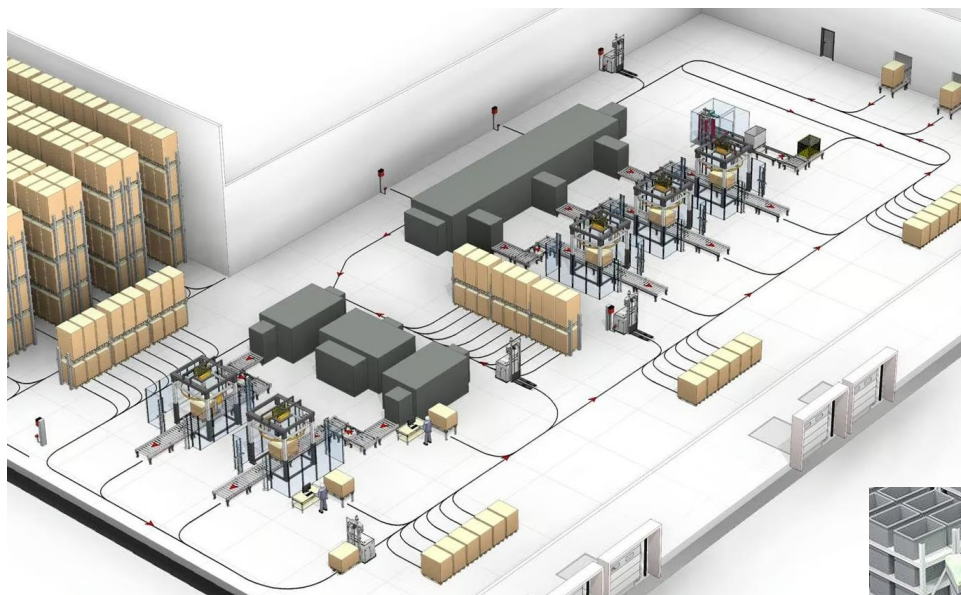
Norwegian University of Science and Technology:

<https://youtu.be/GeirgHVc9WE>

Carnegie Mellon University's Robotics Institute:

<https://www.youtube.com/watch?v=8VLjDjXzTiU>

Kołowe roboty mobilne w przemyśle



AGV (Automated Guided Vehicles) Pojazdy sterowane automatycznie

Roboty mobilne zaprojektowane do transportu materiałów w ściśle określonych środowiskach, takich jak magazyny i fabryki.

źródło: automate-x.nz

źródło: swisslog.com

AMR (Autonomous Mobile Robots) Autonomiczne roboty mobilne

Zaawansowana wersja robotów mobilnych, które wykorzystują sztuczną inteligencję i zaawansowane czujniki do nawigacji w dynamicznych środowiskach.



Cechy charakterystyczne

- **sterowanie:** ruch po z góry określonych ścieżkach, zazwyczaj wyznaczonych fizycznymi znacznikami, jak taśmy magnetyczne, linie na podłodze, kody QR, itp.;
- **środowisko pracy:** wymagają kontrolowanego otoczenia, gdzie nie występują przeszkody lub są one minimalne;
- **technologia:** brak zaawansowanych rozwiązań, rozbudowana analiza otoczenia nie jest wymagana;
- **koszt:** relatywnie tanie w implementacji;
- **elastyczność:** mała, zmiana warunków wymaga rekonfiguracji systemu znaczników.

Typowe zastosowania

- logistyka magazynowa – przenoszenie palet, kontenerów, itp.;
- transport komponentów między liniami produkcyjnymi,



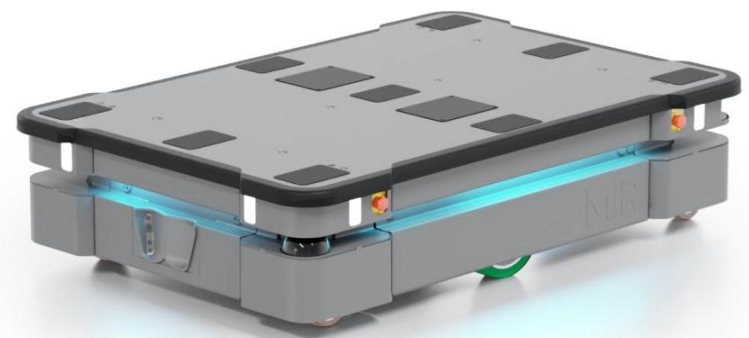
<https://rocla-agv.com/>

Cechy charakterystyczne

- **sterowanie**: korzystają z map, lidarów, kamer oraz algorytmów planowania ruchu, unikają przeszkód, dynamicznie dostosowują trasę;
- **środowisko pracy**: mogą funkcjonować w dynamicznym środowisku;
- **technologia**: zaawansowane rozwiązania, m.in. mapowanie w czasie rzeczywistym (SLAM – Simultaneous Localization and Mapping);
- **koszt**: drogie w implementacji, efektywne w dłuższej perspektywie dzięki mniejszym wymaganiom infrastrukturalnym;
- **elastyczność**: wysoka, dostosowują się do zmiennego środowiska.

Typowe zastosowania

- optymalizacja procesów magazynowania;
- dystrybucja towarów w dużych halach bez konieczności inwestowania w fizyczne trasy;
- obsługa dynamicznych procesów produkcji.



<https://mobile-industrial-robots.com>

AVG vs. AMR – podsumowanie

Cecha	AVG	AMR
Sterowanie	Wyznaczone trasy	Autonomia
Technologia	Prosta	Zaawansowana (czujniki i algorytmy)
Elastyczność	Ograniczona	Bardzo wysoka
Koszt implementacji	Niskie	Wysokie
Koszt infrastruktury	Wysokie	Niskie
Zastosowanie	Stałe procesy produkcyjne	Dynamiczne środowisko pracy

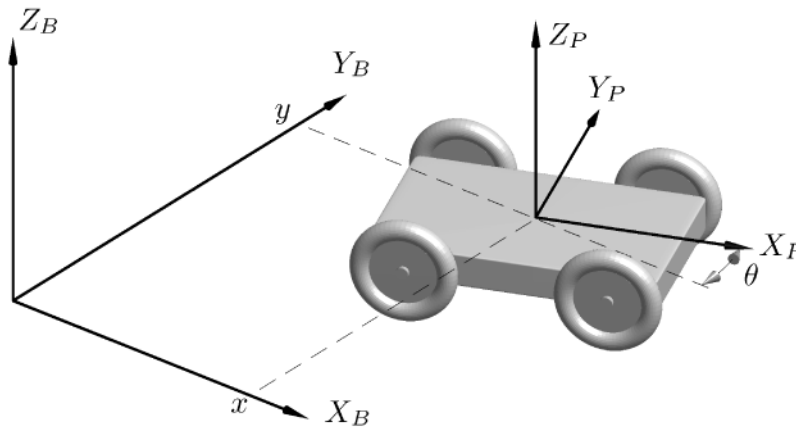
Podsumowanie

- AGV są odpowiednie dla środowisk o ustalonych procesach i trasach, bardziej ekonomiczne w przypadku stałej infrastruktury;
- AMR sprawdzają się tam, gdzie wymagane są elastyczność i adaptacja, szczególnie w dynamicznie zmieniających się środowiskach.

Kołowa platforma mobilna

Rodzaj pojazdu (robota mobilnego) wyposażonego w koła, który jest zdolny do poruszania się w przestrzeni, **założenie**: ruch na płaszczyźnie.

Współrzędne platformy mobilnej



$X_B Y_B Z_B$ – globalny układ współrzędnych $\{B\}$ (układ odniesienia)

$X_P Y_P Z_P$ – lokalny układ współrzędnych $\{P\}$ (układ sztywno związany z platformą)

Poza (pozycja i orientacja – wykład 02) platformy w układzie odniesienia

- (x, y) – położenie platformy w układzie globalnym (początek $\{P\}$ w $\{B\}$)
- θ – orientacja platformy (obrót układu $\{P\}$ względem osi Z_B)

Koła w platformach mobilnych

Założenia (Campion, Bastin, d'Andrea Novel, 1996)

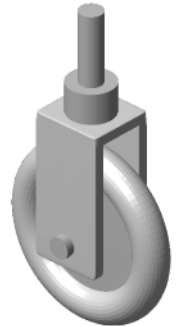
- Podczas ruchu płaszczyzna koła pozostaje pionowa.
- Koło obraca się wokół osi poziomej (równoległej do podłoża).
- Koło styka się z podłożem w jednym punkcie.

Koła konwencjonalne

Klasa kół spełniających warunek czystego toczenia bez poślizgu, poruszają się w jednym kierunku wyznaczonym przez płaszczyznę koła.

Zalety: prosta konstrukcja, niskie opory, dobre przeniesienie siły napędowej.

Wady: ograniczona zdolność manewrowania.



Koła omnikierunkowe

Klasa kół niespełniających warunku czystego toczenia bez poślizgu, umożliwiają ruch w wielu kierunkach bez konieczności zmiany orientacji.

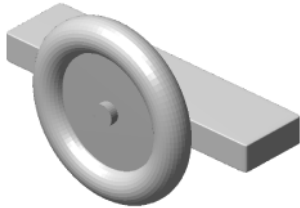
Zalety: pełna mobilność, zwrotność, uproszczone algorytmy sterowania.

Wady: złożona konstrukcja, mniejsza efektywność.



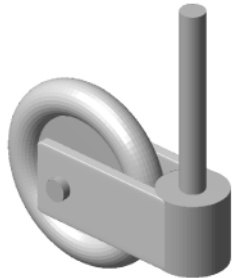
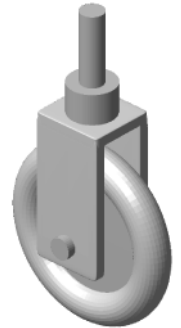
Koła w platformach mobilnych

Koła konwencjonalne



Koło ustalone – zamontowane na stałe względem swojej osi obrotu, ruch ograniczony do jednej płaszczyzny (brak możliwości obrotu względem innych osi)

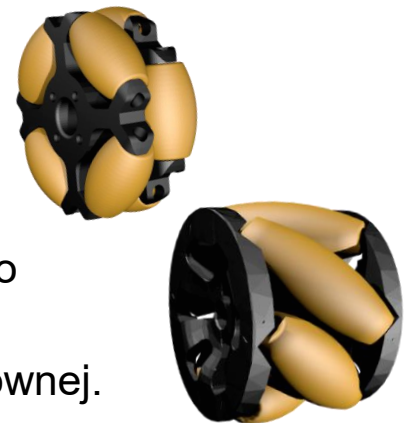
Koło sterowane (orientowalne) – umożliwia zmianę orientacji płaszczyzny koła poprzez obrót względem pionowej osi przechodzącej przez środek koła.



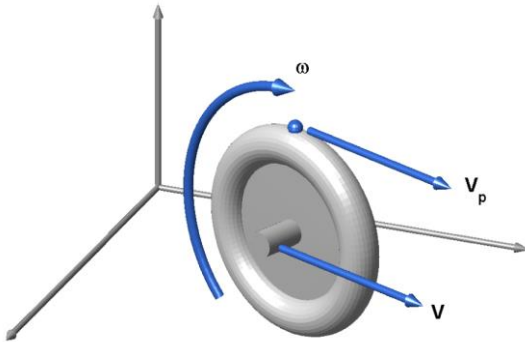
Koło Castora (samonastawne) – umożliwia zmianę orientacji płaszczyzny koła poprzez obrót względem pionowej osi, która nie przechodzi przez środek koła.

Koła omnikierunkowe

Koła złożone z centralnego koła obracającego się wokół osi głównej oraz niezależnie obracających się rolek rozmieszczonych obwodowo (zazwyczaj 90° lub 45°). Odpowiednia kontrola kierunku i prędkości zestawu kół pozwala na wygenerowanie sił prostopadłych do osi głównej.



Poślizg wzdłużny



Prędkość punktu na obwodzie koła

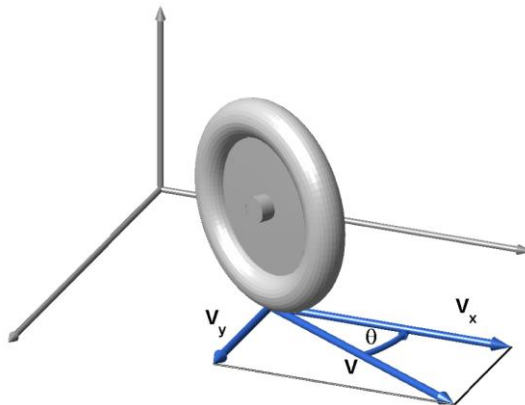
$$V_p = \omega r$$

gdzie ω prędkość kątowna, r promień koła

Warunek na brak poślizgu wzdłużnego

$$\omega r = V$$

Poślizg boczny



Prędkości składowe V_x i V_y

$$\sin(\theta) = V_y / V, \text{ stąd: } V = V_y / \sin(\theta)$$

$$\cos(\theta) = V_x / V, \text{ stąd: } V = V_x / \cos(\theta)$$

Przy braku poślizgów bocznych: $V_y / \sin(\theta) = V_x / \cos(\theta)$

Warunek na brak poślizgu bocznego

$$V_x \sin(\theta) - V_y \cos(\theta) = 0$$

Stopień mobilności platformy (σ_m)

określa liczba stopni swobody (tzn. możliwych kierunków ruchu), które nie naruszają ograniczeń na ruch bez poślizgu

Stopień sterowalności platformy (σ_s)

określa liczba kół sterowanych

Klasa platformy mobilnej

Wynika ze stopnia mobilności i sterowalności, jest określona przez parę (σ_m , σ_s).

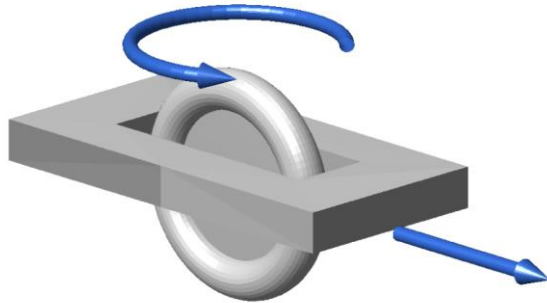
Warunki gwarantujące możliwość wykonania ruchu

$$1 \leq \sigma_m \leq 3, \quad 0 \leq \sigma_s \leq 2$$

$$2 \leq \sigma_m + \sigma_s \leq 3$$

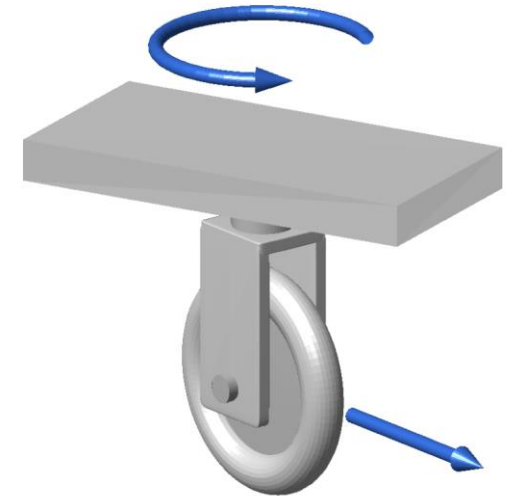
Klasa platformy mobilnej wynika z liczby oraz rozmieszczenia konwencjonalnych kół ustalonych i sterowanych. Swobodne koła Castora (bez ograniczeń na obrót wokół osi pionowej) nie ograniczają mobilności platformy, niezależnie od ich liczby i lokalizacji.

Klasy platform mobilnych: (2, 0) i (2, 1)



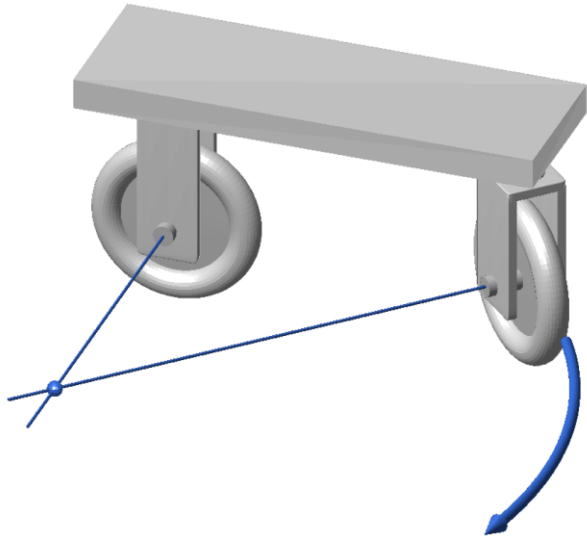
Klasa (2, 0) – platforma z jednym konwencjonalnym kołem ustalonym (dopuszczalne kilka kół ustalonych o wspólnej osi obrotu), mobilność ograniczona do obrotu wokół osi pionowej oraz toczenia w kierunku określonym przez płaszczyznę koła.

Klasa (2, 1) – platforma bez kół ustalonych z jednym konwencjonalnym kołem sterowanym (dopuszczalne kilka kół sterowanych o skoordynowanej orientacji), mobilność ograniczona do obrotu wokół osi pionowej oraz toczenia w kierunku określonym przez płaszczyznę koła (zależnym od skrętu koła sterowanego).



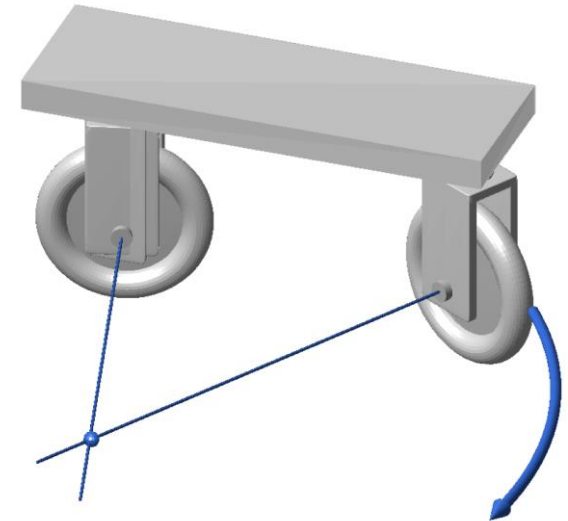
Rysunki prezentują najprostszy model platformy danej klasy. Strzałki określają możliwe kierunki ruchów, które nie naruszają ograniczeń na brak poślizgu.

Klasy platform mobilnych: (1, 1) i (1, 2)



Klasa (1,1) – samochód kinematyczny, platforma z jednym konwencjonalnym kołem ustalonym i jednym konwencjonalnym kołem skrętnym (dopuszczalna większa liczba kół: ustalone na wspólnej osi, skrętne skoordynowane), mobilność ograniczona do kierunku zależnego od skrętu koła sterowanego.

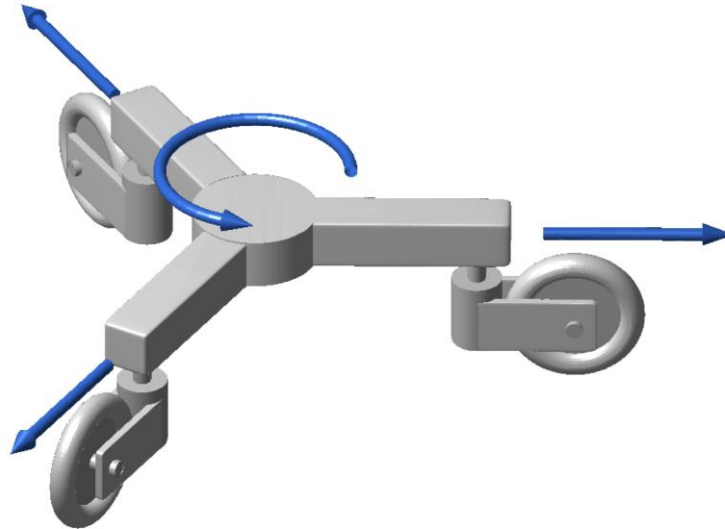
Klasa (1,2) – platforma bez kół ustalonych z dwoma konwencjonalnymi kołami skrętnymi (dopuszczalna większa liczba kół sterowanych o skoordynowanym skręcie), mobilność ograniczona do kierunku będącego wypadkową kątów kół sterowanych.



Rysunki prezentują najprostszy model platformy danej klasy. Strzałki wskazują jedyny możliwy kierunek ruchu, który nie narusza ograniczeń na brak poślizgu (okrąg o środku wyznaczonym przez punkt przecięcia osi kół).

Klasy platform mobilnych: (3, 0)

Klasa (3, 0) – omnikierunkowa, platforma bez konwencjonalnych kół ustalonych i sterowalnych, nie ma żadnych ograniczeń związanych z mobilnością (ma pełną mobilność) – w dowolnej chwili może poruszać się w dowolnym kierunku bez konieczności reorientacji.



Platforma klasy (3,0) może być skonstruowana przy pomocy konwencjonalnych kół Castora, kół szwedzkich oraz kół mecanum.

Układy holonomiczne i nieholonomiczne

Ograniczenia (więzy) holonomiczne – ograniczenia, które można zapisać w postaci równań algebraicznych w formie

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, t) = 0.$$

Ograniczenia (więzy) nieholonomiczne – ograniczenia, których nie można zapisać w postaci równań algebraicznych.

Platformy mobilne mogą podlegać ograniczeniom nieholonomicznym należącym do grupy **więzów różniczkowych niecałkowalnych** (możliwych do zapisania tylko jako równania różniczkowe). Więzy różniczkowe nie ograniczają dostępnej przestrzeni, ale ograniczają prędkości, które może osiągnąć układ w danej chwili czasu, tzn. układ może osiągnąć dowolny punkt w przestrzeni, ale nie może zrobić tego w dowolny sposób.

Możliwe klasy platform nieholonomicznych: (2, 0), (2, 1), (1, 1), (1, 2).

Możliwa platforma holonomiczna: (3, 0).

Przykłady platform mobilnych

Przykłady platform mobilnych (nagrania i symulacje dostępne na stronie przedmiotu):

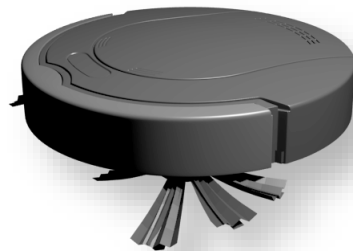
- Platforma (2, 0) – symulacja,
- Dydaktyczna platforma mobilna (2, 0), differential drive,
- Platforma (1,1), trycykl – symulacja,
- Platforma (3, 0) – symulacja,
- KUKA youBot – nieholonomiczna platforma (3,0).

Platformy (2, 0) – przykłady



*R2-D2
Seria Star Wars*

Automatyczny odkurzacz



Pioneer 3-DX

Platformy (1, 1) – przykłady



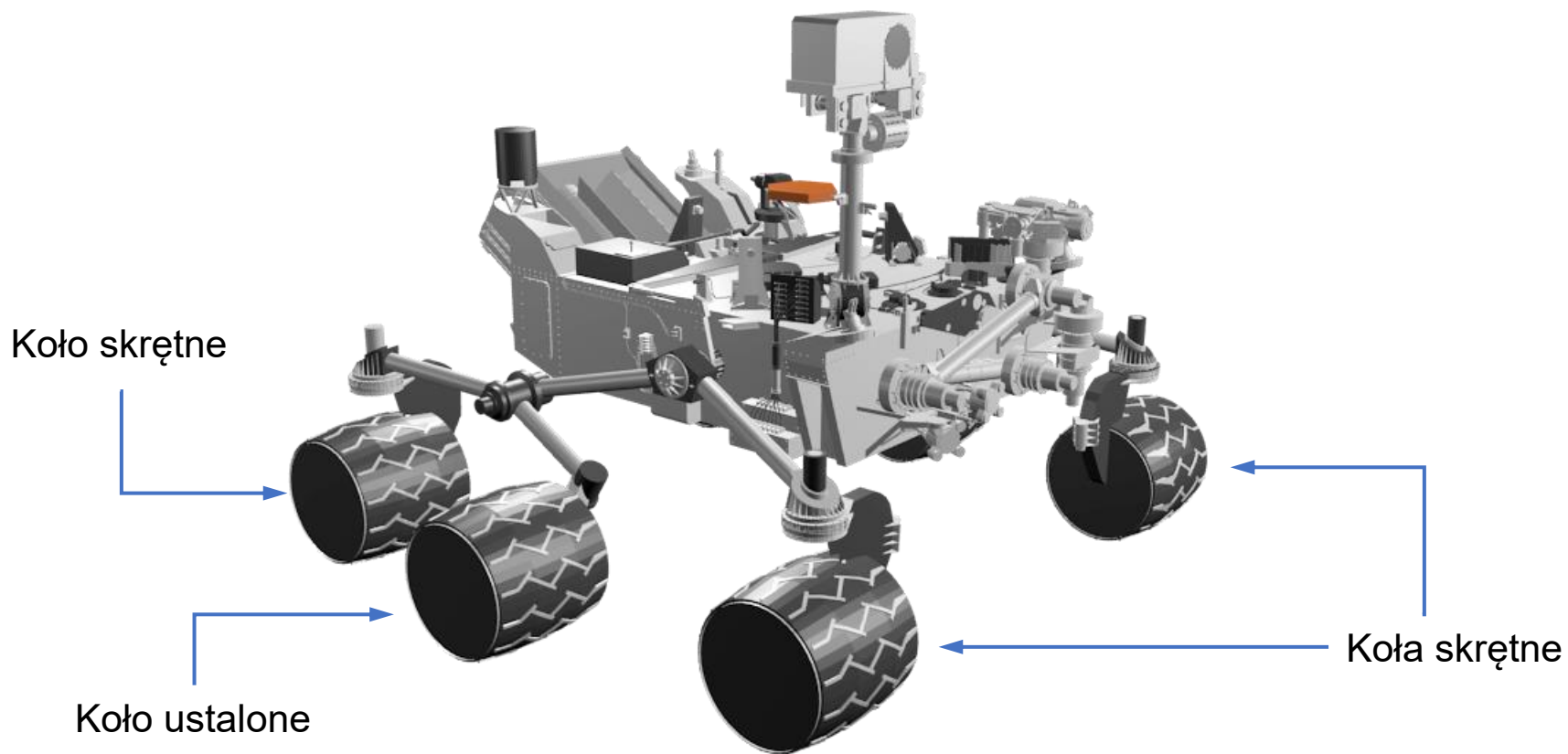
*Autonomiczny samochód Nuro firmy Chipotle
(pierwszy pojazd autonomiczny zaakceptowany
w Kalifornii, Arizonie i Teksasie)*



*Wózek widłowy
(dwa koła ustalone*

i jedno lub dwa koła skretne)

Łaziki marsjańskie: Spirit, Opportunity, Curiosity, Perseverance.



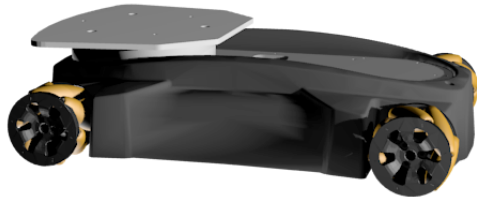
Curiosity Rover (misja o Mars Science Laboratory (MSL))

Manipulator (maszyna manipulacyjna) – urządzenie realizujące funkcje kończyny górnej człowieka: manipulacyjne wykonywane przez chwytak oraz wysięgnikowe realizowane przez ramię manipulatora.

Manipulator mobilny – system robotyczny zbudowany z manipulatora zamontowanego na platformie mobilnej.

Manipulatory:

- wysoka precyzja,
- duże zdolności manipulacyjne,
- ograniczony zasięg.



Manipulatory mobilne:

- nieograniczony zasięg,
- wysoka precyzja,
- duże zdolności manipulacyjne,
- Większa złożoność algorytmów sterowania.



Platformy mobilne:

- nieograniczony zasięg,
- niska precyzja ruchów,
- ograniczone zdolności manipulacyjne.

