

Materiał do wykładu *roboty mobilne*

# Odometria w robotach mobilnych

# Nawigacja

- Gdzie jestem?
  - informacja o położeniu robota pochodzi z układów czujników
- Gdzie mam się udać?
  - decyzję o celu podejmuje operator, niekiedy system planowania zadania
- Jak mam tam dotrzeć?
  - problem planowania ścieżki

# 1. Gdzie jestem?

Odpowiedź na pytanie: jakie są współrzędne robota względem zewnętrznego układu współrzędnych?

Zewnętrzny układ współrzędnych:

- nieruchomy względem otoczenia robota
- położenie zerowe związane z:
  - wyróżnionym elementem otoczenia
  - lub położeniem początkowym robota.

# Gdzie jestem?

**Ważne informacje o współrzędnych kartezjańskich:**

- $(x, y)$
  - $(x, y, z)$  dla robotów poruszających się w przestrzeni
- i ponadto**
- orientacja, szczególnie ważna w przypadku robotów o więzach nieholonomicznych
  - kąt odchylenia osi robota (kierunku *przód*) od wyróżnionej osi układu współrzędnych



# Samolokalizacja zliczeniowa

Polega na określaniu położenia i orientacji pojazdu na podstawie poprzedniego położenia, aktualnej prędkości oraz pomiaru wpływu czasu.

**Problem:** kumulacja błędów.

Najprostsza metoda to **odometria**. Zmianę położenia określa się wprost z pokładowego systemu zliczania obrotów kół.

# Typy enkoderów

- szczotkowe
- potencjometryczne
- resolwery
- magnetyczne
- indukcyjne
- pojemnościowe
- optyczne (najpopularniejsze)

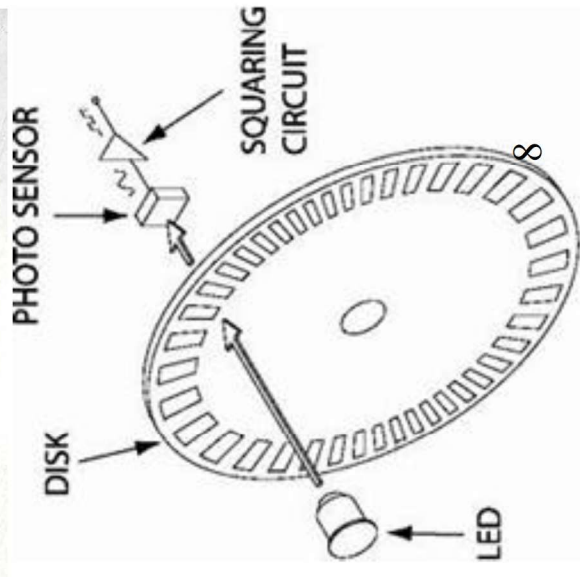
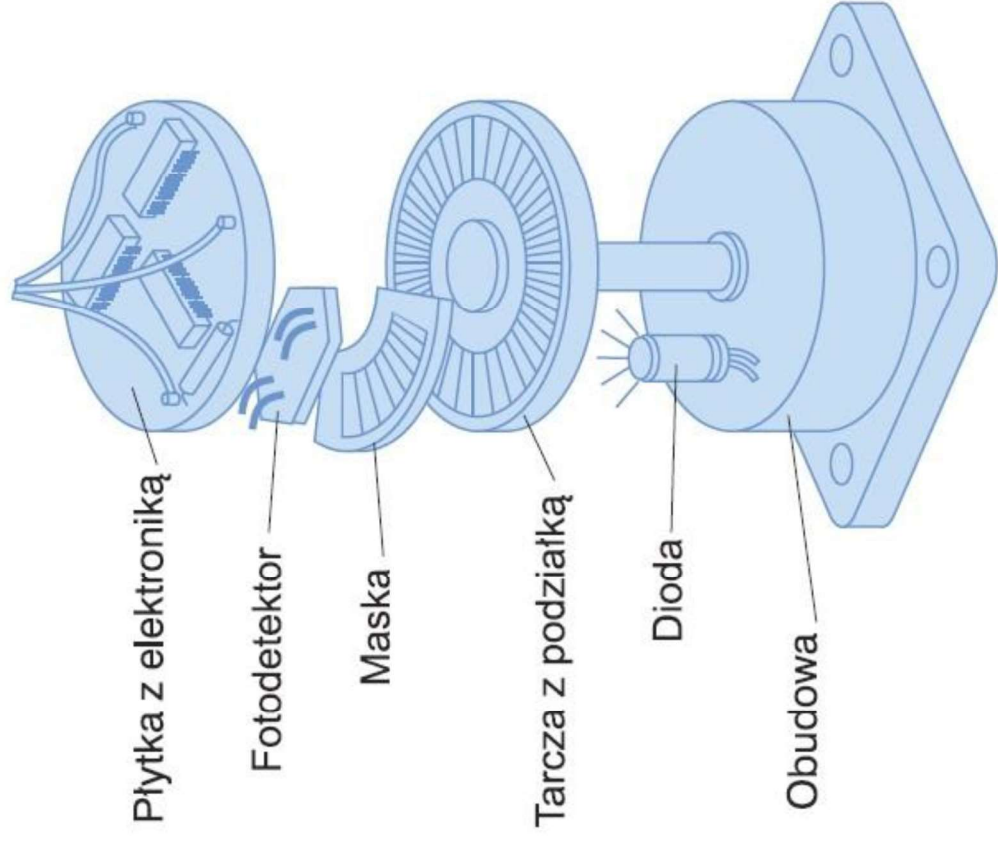
# Enkodery przyrostowe

- określają położenie względne na podstawie pomiaru prędkości obrotowej

**Problem doboru** częstości odświeżania pomiaru i jej wpływ na dokładność pomiarów

- stosuje się niekiedy **trzeci czujnik** - jeden puls na obrót
- informacja o położeniu ginie po wyłączeniu zasilania
- istotne określenie położenia początkowego
  
- aktualnie silniki DC są wyposażane w enkodery

# Enkodery przyrostowe



# Enkodery przyrostowe

zasada działania – pomiar chwilowej prędkości obrotowej

zasada określania kierunku obrotu – określenie kąta przesunięcia fazowego

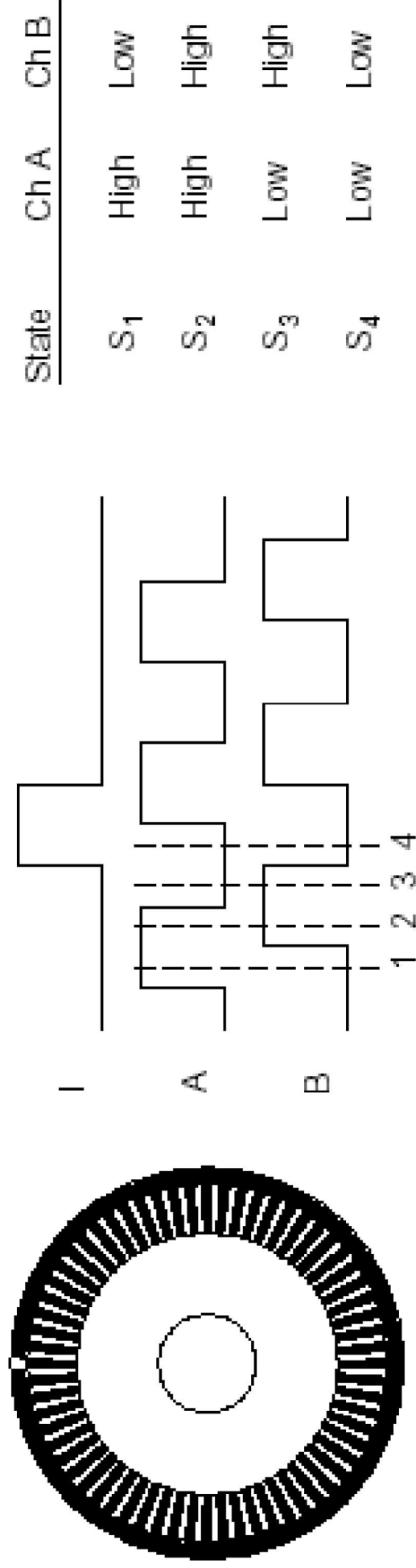


Figure 1.1: The observed phase relationship between Channel A and B pulse trains can be used to determine the direction of rotation with a phase-quadrature encoder, while unique output states  $S_1$  -  $S_4$  allow for up to a four-fold increase in resolution. The single slot in the outer track generates one index pulse per disk rotation



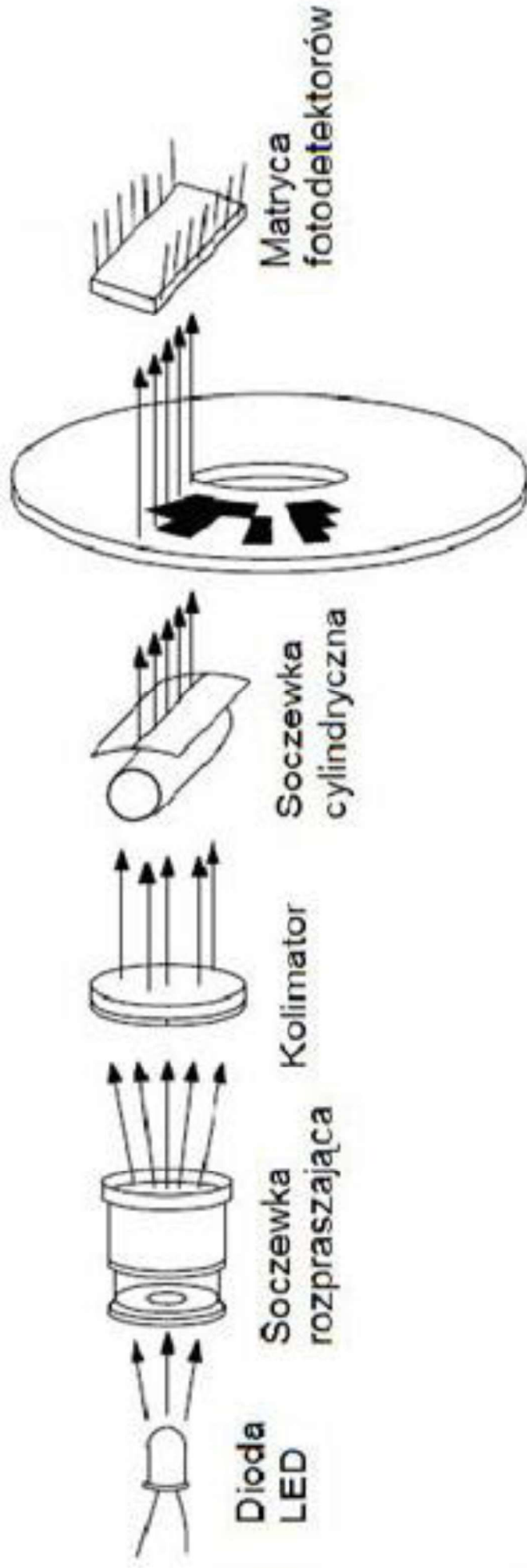
# Enkodery absolutne

Dla każdego położenia określony (jednoznaczny) układ kresek

Używa się wtedy, gdy potrzebna informacja o położeniu (nawet mimo wyłączenia zasilania) – np. napęd koła sterującego

**Problem:** skomplikowany interfejs z komputerem sterującym  
(wiele wejść)

# Enkodery absolutne



# Enkodery absolutne - tarce

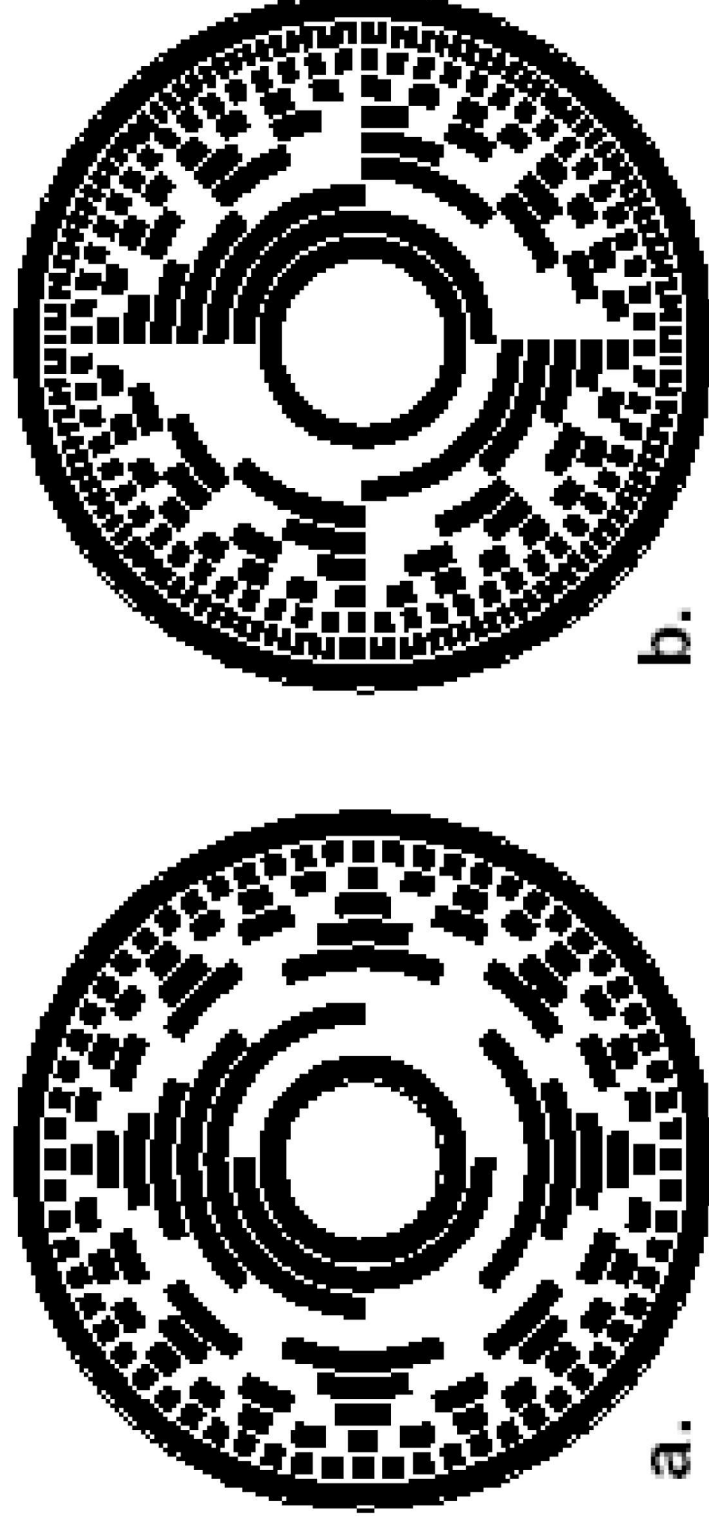


Figure 1.3: Rotating an 8-bit absolute Gray code disk.

- a. Counterclockwise rotation by one position increment will cause only one bit to change.
- b. The same rotation of a binary-coded disk will cause all bits to change in the particular case (255 to 0) illustrated by the reference line at 12 o'clock.



# Enkodery przyrostowe i absolutne



# Sensory wykorzystujące zjawisko Dopplera

## Układy radarowe

- układy działające w mikrofalach pojedynczy układ nadawczo-odbiorczy obserwujący ruch gruntu
- **problemy:** ruch związany z obrotem, nierówności gruntu, ruch podłoża (np. ciek wodny)

## Układy akustyczne

# Czujniki Dopplera

## zasada działania

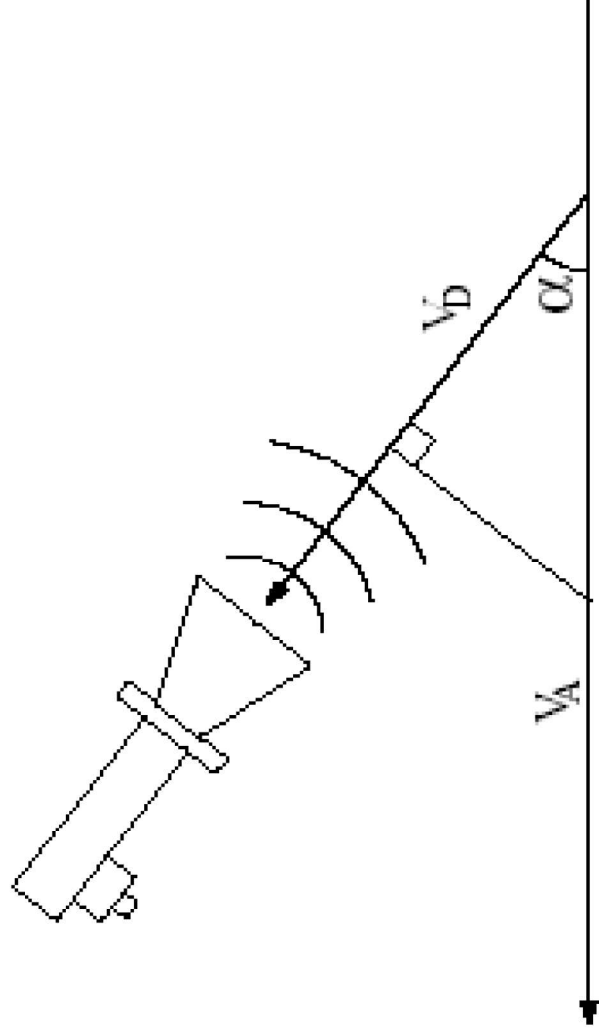


Figure 1.4: A Doppler ground-speed sensor inclined at an angle  $\alpha$  as shown measures the velocity component  $V_D$  of true ground speed  $V_A$ . (Adapted from [Schultz, 1993].)

$$V_A = \frac{V_D}{\cos \alpha} = \frac{c F_D}{2 F_0 \cos \alpha} \quad (1.1)$$

where

- $V_A$  = actual ground velocity along path
- $V_D$  = measured Doppler velocity
- $\alpha$  = angle of declination
- $c$  = speed of light
- $F_D$  = observed Doppler shift frequency
- $F_0$  = transmitted frequency.

# Czujniki Dopplera - ultradźwięki

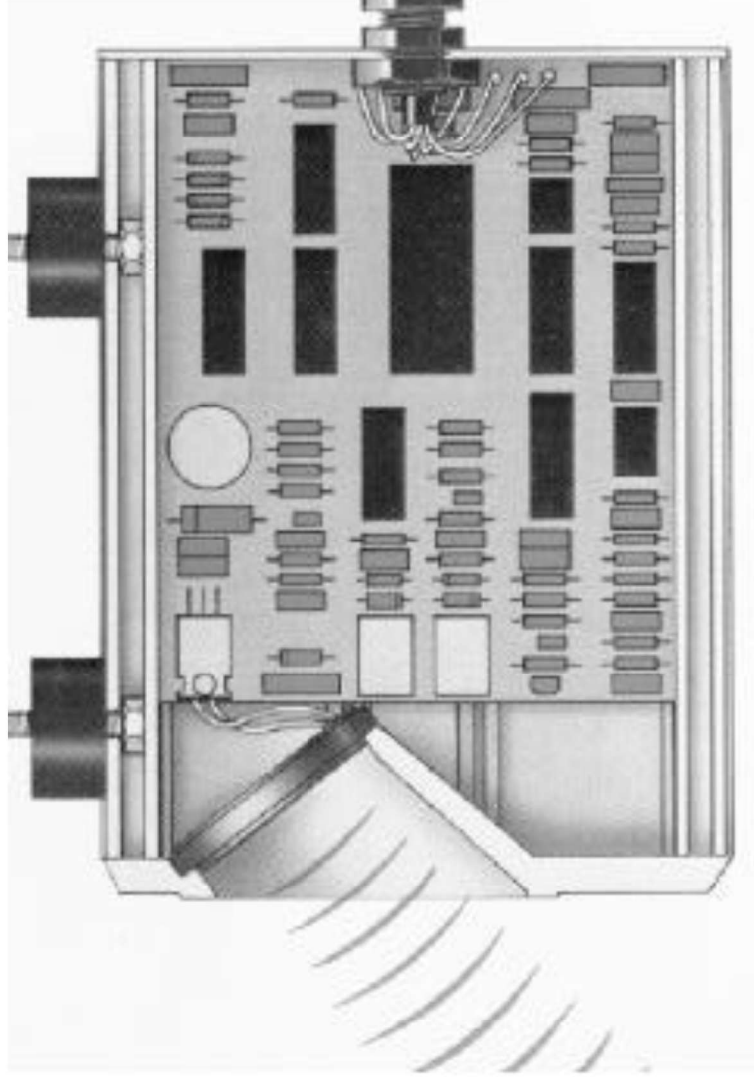


Figure 1.5: The *Trak-Star* Ultrasonic Speed Sensor is based on the Doppler effect. This device is primarily targeted at the agricultural market. (Courtesy of Micro-Trak.)

# Odometria

## **Odometria w nawigacji robota:**

- Integracja informacji o przyroście ruchu w czasie
- Dokładność bardzo ściśle związana z prostym zadaniem kinematyki robota mobilnego, a zatem z typem układu napędowego

## **Zalety odometrii:**

- mały koszt
- możliwość częstego próbkowania położenia kół

## **Wady odometrii:**

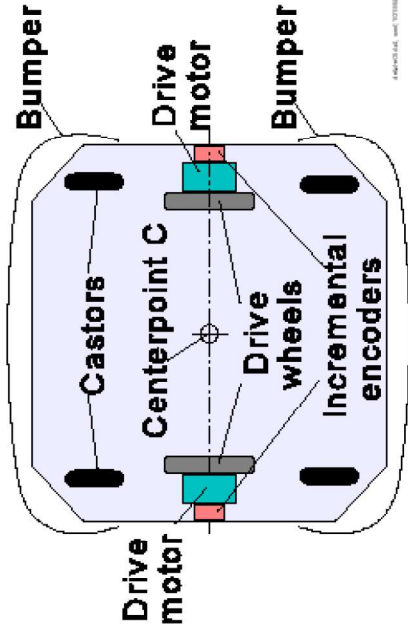
- kiepska dokładność
- kumulowanie się błędów



# Odometria (cechy)

- Odometria może być **łączona** z bezwzględnym pomiarem pozycji w celu dostarczania lepszych i bardziej wiarygodnych danych
- Odometria może być używana **pomiedzy** punktami nawigacji bezwzględnej. Zwiększenie dokładności w odometrii pozwala na rzadsze uaktualnianie pozycji bezwzględnej, a w rezultacie na mniejszą ilość potrzebnych znaków nawigacyjnych na danym odcinku drogi.
- W niektórych przypadkach, odometria jest **jedynym** źródłem informacji nawigacyjnych, np. kiedy brak jest zewnętrznych punktów odniesienia.

# Odometria dla napędu różnicowego



$$c_m = \pi D_n / n C_e$$

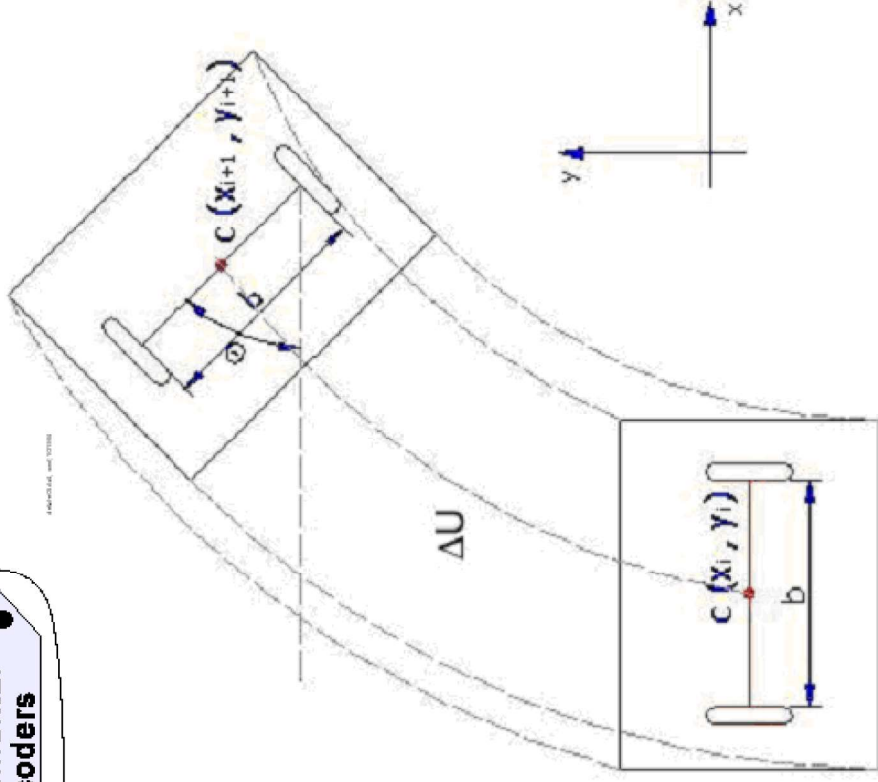
(odległość na jednostkę enkodera)

$c_m$  - współczynnik zamiany

$D_n$  - nominalna średnica koła

$C_e$  - liczba impulsów na obrót enkodera

$n$  - przełożenie przekładni redukującej obrót silników



# Napęd różnicowy

Odległość przebywana przez każde koło wynosi:

$$\Delta U_{L/R\ t} = c_m N_{L/R\ t}$$

Przemieszczenie środka robota wynosi:

$$\Delta U_t = (\Delta U_{R\ t} + \Delta U_{L\ t}) / 2$$

Zmiana orientacji ( $b$  - odległość między kołami, tzn. między punktami kontaktu kół z podłożem):

$$\Delta \theta_t = (\Delta U_R - \Delta U_L) / b$$

Nowe położenie robota można obliczyć następująco:

$$x_t = x_{t-1} + \Delta U_t \cos \theta_t$$

$$y_t = y_{t-1} + \Delta U_t \sin \theta_t$$

$$\theta_t = \theta_{t-1} + \Delta \theta_t$$

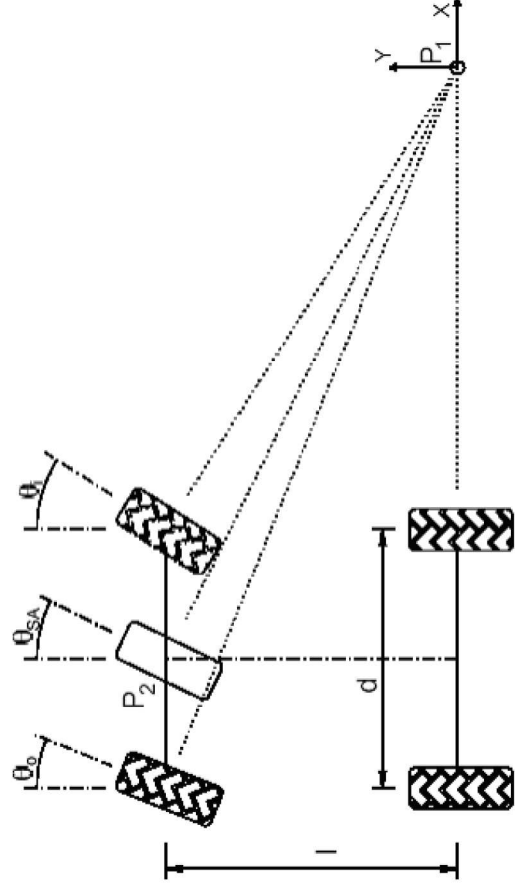
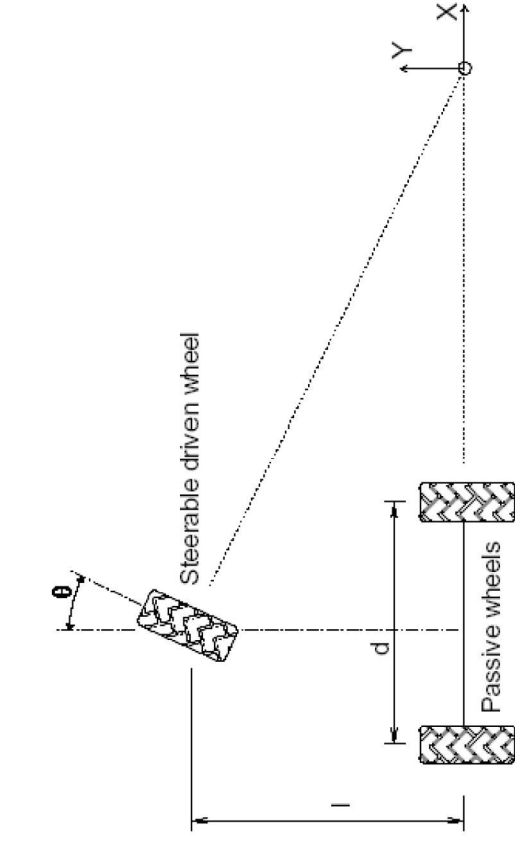


# Odometria dla napędu różnicowego

Przyczyny niedokładności:

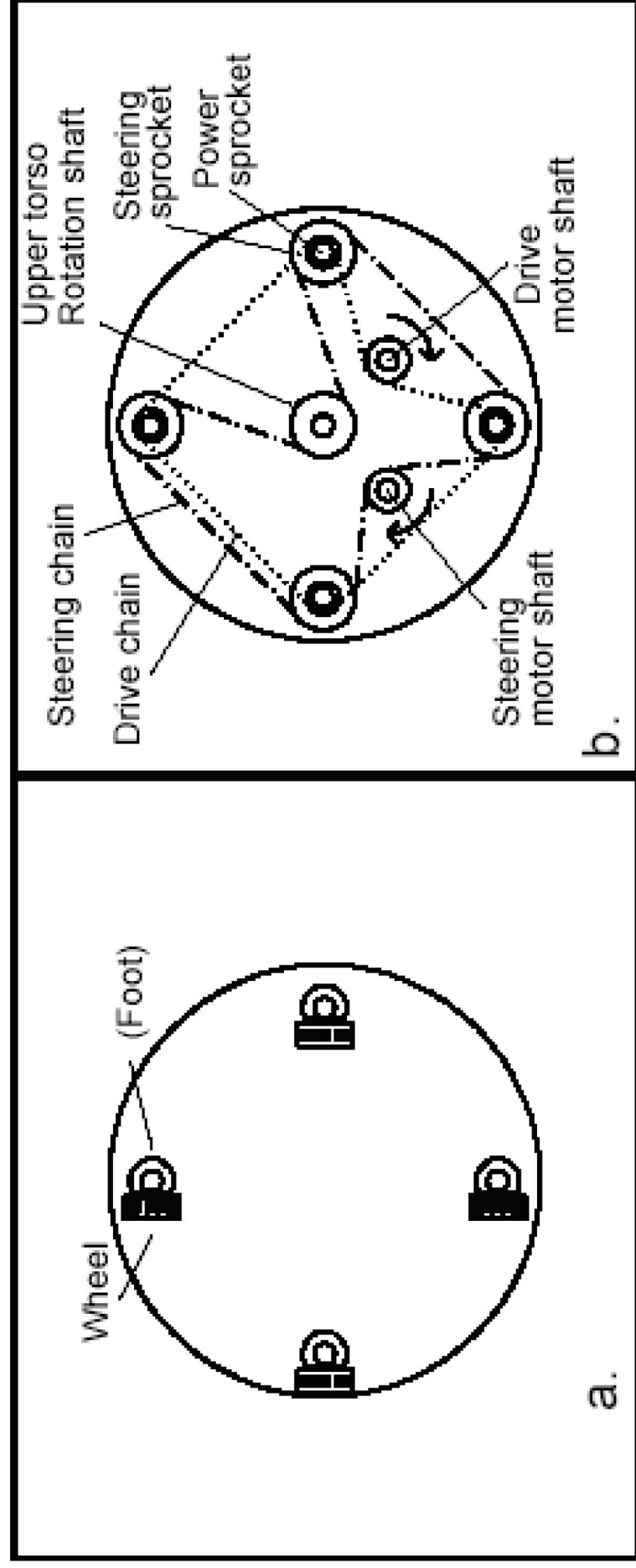
- poślizgi kół podczas zmian prędkości
- poślizgi boczne podczas skrętów
- zmiany orientacji robota przy obrocie kół podporowych wokół osi pionowej
- niedokładności wykonania kół
- nierównomierne zużycie kół
- pośrednie obliczenia orientacji

# Napęd trzykołowy i Ackermana



$$ctg\theta_{SA} = \frac{d}{2l} + ctg\theta_i = ctg\theta_0 - \frac{d}{2l}$$

# Napęd synchroniczny



# Napęd synchroniczny

- Redukcja poślizgu, gdyż wszystkie koła generują równe i równoległe wektory prędkości
- Rozprzężenie kinematyczne ruchu postępowego i zmiany orientacji pozwala na bardzo dokładny pomiar położenia robota
- Orientacja jest brana bezpośrednio z enkodera orientacji

$$D = \frac{2\pi N}{C_e} R_e$$

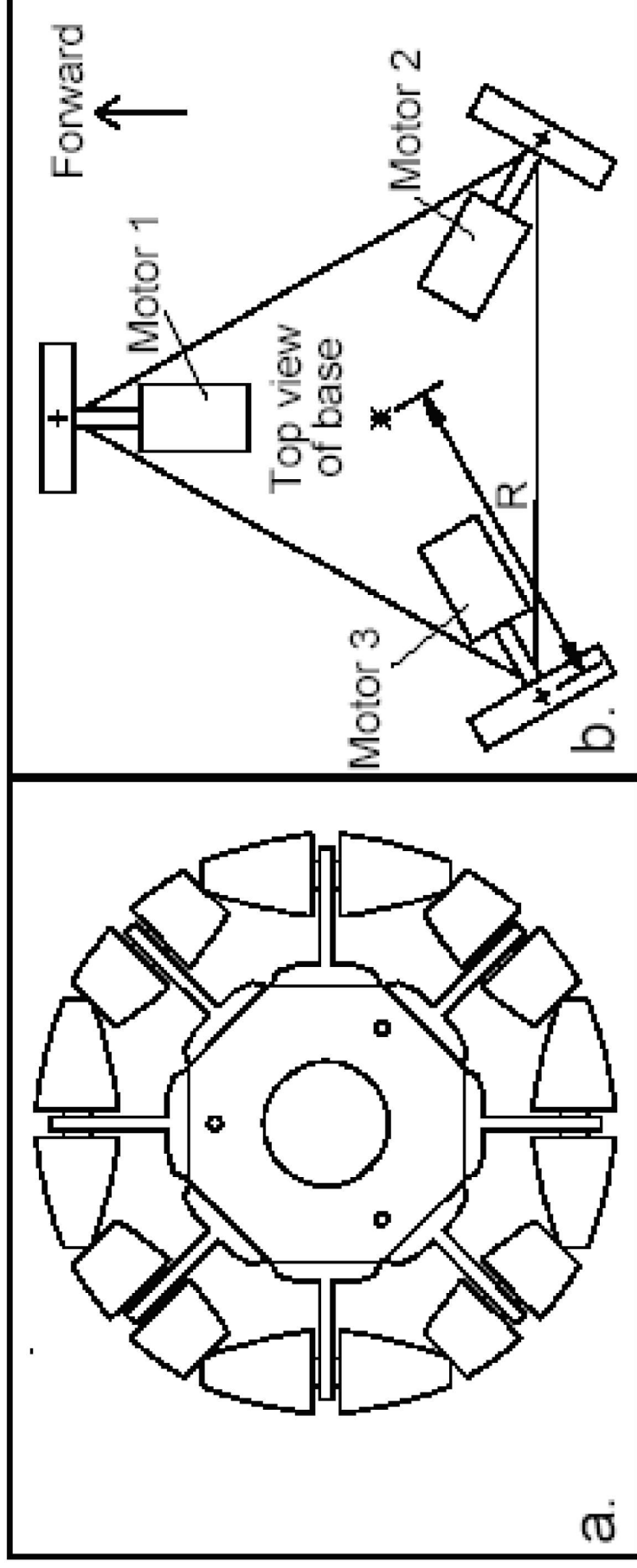
D – długość przemieszczenia się pojazdu

N – zmierzona ilość impulsów z kodera przy silniku napędowym

$C_e$  – liczba impulsów enkodera na pełen obrót koła

$R_e$  – rzeczywisty promień koła jezdnego (z uwzględnieniem zużycia bieżnika, ciśnienia w oponie itp.)

# Napęd wszechkierunkowy



$$V_1 = \omega_1 r = V_x + \omega_p R$$

$$V_2 = \omega_2 r = -(\sin 30^\circ) V_x + (\cos 30^\circ) V_y + \omega_p R$$

$$V_3 = \omega_3 r = -(\sin 30^\circ) V_x - (\cos 30^\circ) V_y + \omega_p R$$

$V_i$  – prędkość styczna do koła numer  $i$   
 $\omega_i$  – prędkość obrotowa silnika numer  $i$   
 $\omega_p$  – prędkość obrotu podstawy wokół osi pionowej

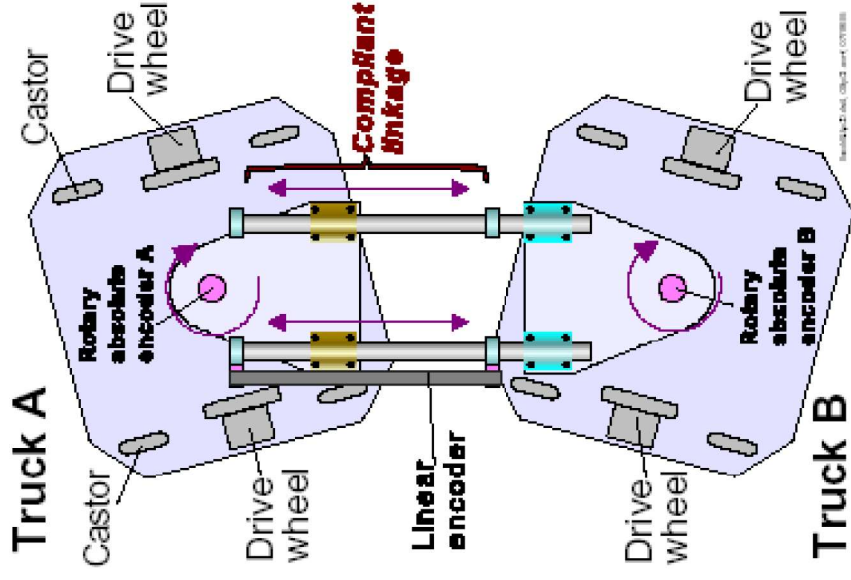
$r$  – promień kół

$R$  – promień rozstawu kół

$V_x$  – składowa prędkości w kierunku  $x$

$V_y$  – składowa prędkości w kierunku  $y$

# Napędy MDOF z połączeniem



**Figure 1.15:** The compliant linkage is instrumented with two absolute rotary encoders and a linear encoder to measure the relative orientations and separation distance between the two trucks.

Budowa pojazdu:

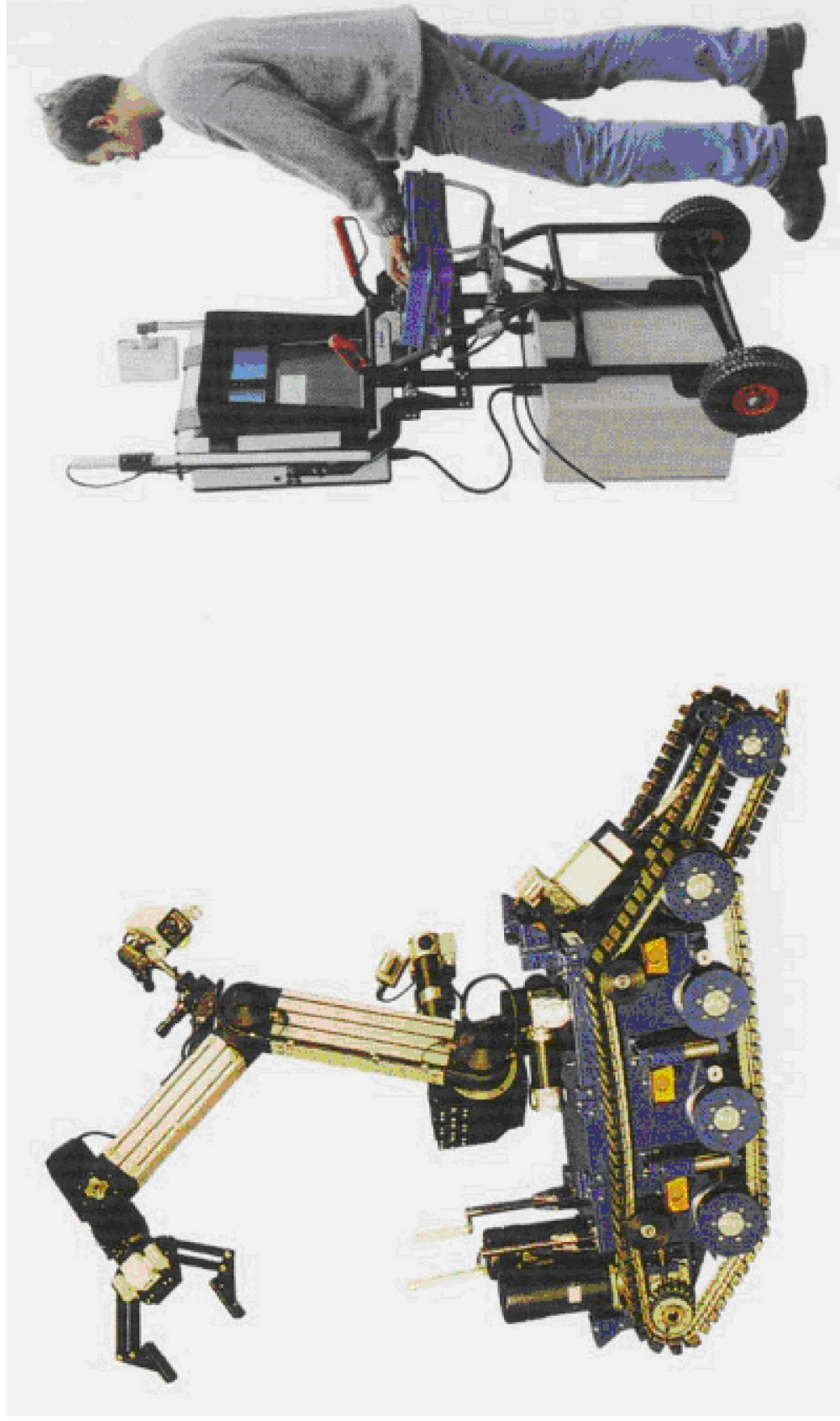
- dwie platformy
- połączenie cięgnem
- obrotowe przeguby z pomiarem kąta

Cele:

- eliminacja poślizgów
- uzyskanie dużej dokładności odometrii



# Napędy gąsienicowe



Duże poślizgi są tu typowe i dlatego stosuje się tylko do urządzeń zdalnie sterowanych, w których odometria ma znaczenie drugoplanowe.