

# Nawigacja przyrostowa

Borenstein, Everett, Feng, "Where am I?..." rozdz. 1 i 5

## Położenia

- ▶ enkodery
  - ▶ przyrostowe, absolutne (z kodem binarnym lub Graya)
  - ▶ optyczne, magnetyczne, mechaniczne, pojemnościowe
- ▶ akcelerometry
  - ▶ pojemnościowe, piezoelektryczne, piezorezystancyjne, oraz magnetorezystancyjne, bazujące na efekcie Halla
- ▶ czujniki doplerowskie

## Orientacji

- ▶ Żyroskopy
  - ▶ mechaniczne, piezoelektryczne, optyczne
- ▶ Magnetometry
  - ▶ mechaniczne, transduktorowe, magnetorezystancyjne, wykorzystujące efekt Halla

# Przykład – zadanie 1

Koło napędzane jest silnikiem DC z przekładnią 25:1.  
Enkoder przyrostowy na osi silnika zwraca 24 impulsy na obrót.  
Koło ma średnicę 16mm.

# Przykład – zadanie 1

Koło napędzane jest silnikiem DC z przekładnią 25:1.  
Enkoder przyrostowy na osi silnika zwraca 24 impulsy na obrót.  
Koło ma średnicę 16mm.

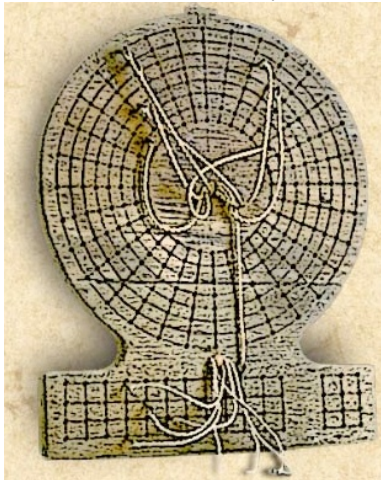
Pytania:

- ▶ ile impulsów enkodera przypada na jeden obrót koła?
- ▶ ile impulsów enkodera przypada na 1mm ruchu postępowego koła?

Dane robota Khepera (K-team)

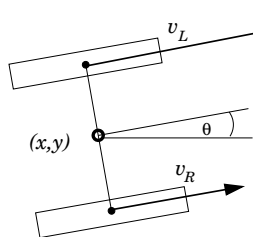
# Odometria – historia

Odometria: gr. *hodós* – droga, *métron* – pomiar )



Grecki odometr z I w p.n.e., chiński wóz pokazujący południe (III w. n.e.), tablica kursów i prędkości z XVII w. okrętu

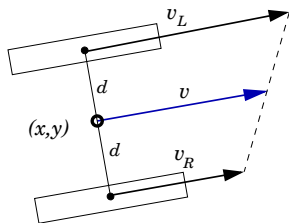
# Odometria – napęd różnicowy



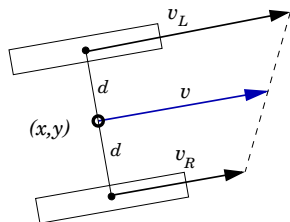
Pytanie:

Mając  $v_R$  i  $v_L$ , jak obliczyć prędkość liniowa i kątową środka?

# Odometria – napęd różnicowy



# Odometria – napęd różnicowy



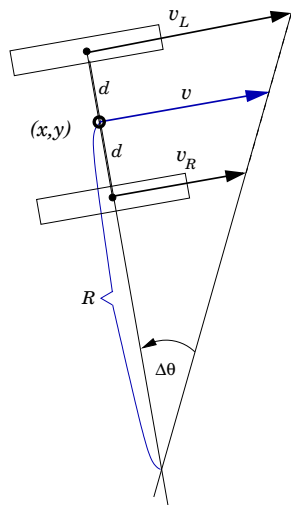
$$v = \frac{v_L + v_R}{2}$$

$$\Delta x = v \Delta t \cos \theta$$

$$\Delta y = v \Delta t \sin \theta$$



# Odometria – napęd różnicowy

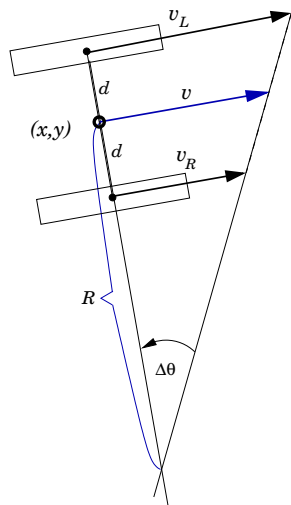


$$v = \frac{v_L + v_R}{2}$$

$$\Delta x = v \Delta t \cos \theta$$

$$\Delta y = v \Delta t \sin \theta$$

# Odometria – napęd różnicowy



$$v = \frac{v_L + v_R}{2}$$

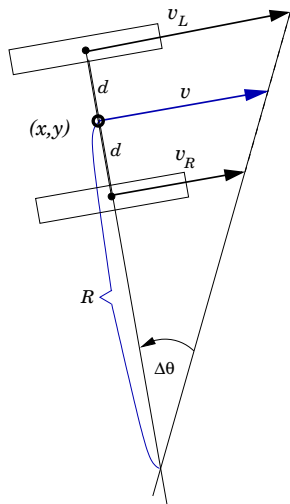
$$\Delta x = v \Delta t \cos \theta$$

$$\Delta y = v \Delta t \sin \theta$$

$$\frac{R + d}{v_L} = \frac{R - d}{v_R} \Rightarrow R = \frac{2dv}{v_L - v_R}$$

$$\Delta\theta = \frac{v}{R} \Delta t = \frac{v_L - v_R}{2d} \Delta t$$

# Odometria – napęd różnicowy



$$\dot{x} = v \cos \theta$$

$$\dot{y} = v \sin \theta$$

$$\dot{\theta} = \frac{v}{R} = \frac{v_L - v_R}{2d}$$

## Przykład – zadanie 2

Niech  $d = 1$ . Początkowy stan enkoderów oraz położenie i orientacja robota są równe 0.

Po 1s odczytano z obu enkoderów i po przeliczeniu na ruch postępowy każdego z kół otrzymano  $\Delta L = \pi = \Delta R$ .

Jakie jest położenie i orientacja robota?

## Przykład – zadanie 2

Niech  $d = 1$ . Początkowy stan enkoderów oraz położenie i orientacja robota są równe 0.

Po 1s odczytano z obu enkoderów i po przeliczeniu na ruch postępowy każdego z kół otrzymano  $\Delta L = \pi = \Delta R$ .

Jakie jest położenie i orientacja robota?

- ▶ przyjmując stałą i równą prędkość obu kół

## Przykład – zadanie 2

Niech  $d = 1$ . Początkowy stan enkoderów oraz położenie i orientacja robota są równe 0.

Po 1s odczytano z obu enkoderów i po przeliczeniu na ruch postępowy każdego z kół otrzymano  $\Delta L = \pi = \Delta R$ .

Jakie jest położenie i orientacja robota?

- ▶ przyjmując stałą i równą prędkość obu kół
- ▶ przyjmując, że przez pierwsze  $\frac{1}{2}$ s porusza się tylko lewe koło, a przez drugie – prawe

## Przykład – zadanie 2

Niech  $d = 1$ . Początkowy stan enkoderów oraz położenie i orientacja robota są równe 0.

Po 1s odczytano z obu enkoderów i po przeliczeniu na ruch postępowy każdego z kół otrzymano  $\Delta L = \pi = \Delta R$ .

Jakie jest położenie i orientacja robota?

- ▶ przyjmując stałą i równą prędkość obu kół
- ▶ przyjmując, że przez pierwsze  $\frac{1}{2}$ s porusza się tylko lewe koło, a przez drugie – prawe
- ▶ przyjmując, że przez pierwsze  $\frac{1}{2}$ s porusza się tylko prawe koło, a przez drugie – lewe

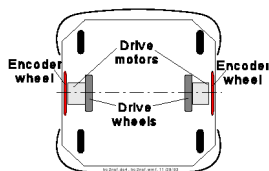
# Rodzaje i przyczyny błędów odometrii

- ▶ systematyczne
  - ▶ różne średnice kół
  - ▶ rzeczywista średnica kół różna od założonej
  - ▶ rzeczywista odległość pomiędzy kołami różna od założonej
  - ▶ przesunięcie osi kół
  - ▶ rozdzielczość enkoderów
  - ▶ częstotliwość próbkowania enkoderów
- ▶ niesystematyczne
  - ▶ nierówności powierzchni
  - ▶ przeszkody na ścieżce robota
  - ▶ poślizgi: mała przyczepność podłoża, nadmierne przyspieszenie, zbyt szybkie skręcanie, siły zewnętrzne (w tym kontakt z przedmiotami), siły wewnętrzne (koła swobodne), niepunktowy kontakt z podłożem



# Obserwacje związane z błędami odometrii

- ▶ roboty o mniejszym rozstawie kół generują większe błędy orientacji
- ▶ obciążone koła swobodne powodują poślizg przy zmianie kierunku ruchu
- ▶ idealne koła do odometrii powinny być wąskie i sztywne
- ▶ wspólny napęd powoduje mniejsze błędy niż różnicowy



## Przykład – zadanie 3

Dany jest robot z zadania 1 (25:1, 24imp./obrót,  $r = 16\text{mm}$ ).  
Odległość między kołami wynosi  $50\text{mm} = 2d$ . Koła obracają się z prędkością kątową odpowiadającą ruchowi postępowemu  $40\text{mm/s}$ .

- ▶ Do jakiego punktu dojedzie robot po 100s?

## Przykład – zadanie 3

Dany jest robot z zadania 1 (25:1, 24imp./obrót,  $r = 16\text{mm}$ ).  
Odległość między kołami wynosi  $50\text{mm} = 2d$ . Koła obracają się z prędkością kątową odpowiadającą ruchowi postępowemu  $40\text{mm/s}$ .

- ▶ Do jakiego punktu dojedzie robot po 100s?

Na skutek zużycia średnica koła może się zmniejszyć o  $0.2\text{mm}$ .  
Przyjmijmy, że zużyty jest bieżnik prawego koła.

## Przykład – zadanie 3

Dany jest robot z zadania 1 (25:1, 24imp./obrót,  $r = 16\text{mm}$ ).  
Odległość między kołami wynosi  $50\text{mm} = 2d$ . Koła obracają się z prędkością kątową odpowiadającą ruchowi postępowemu  $40\text{mm/s}$ .

- ▶ Do jakiego punktu dojedzie robot po 100s?

Na skutek zużycia średnica koła może się zmniejszyć o  $0.2\text{mm}$ .  
Przyjmijmy, że zużyty jest bieżnik prawego koła.

- ▶ O ile zmniejszy się droga przejechana przez koło w czasie 1 obrotu (w mm i procentowo)

## Przykład – zadanie 3

Dany jest robot z zadania 1 ( $25:1$ ,  $24\text{imp./obrot}$ ,  $r = 16\text{mm}$ ).  
Odległość między kołami wynosi  $50\text{mm} = 2d$ . Koła obracają się z prędkością kątową odpowiadającą ruchowi postępowemu  $40\text{mm/s}$ .

- ▶ Do jakiego punktu dojedzie robot po  $100\text{s}$ ?

Na skutek zużycia średnica koła może się zmniejszyć o  $0.2\text{mm}$ .  
Przyjmijmy, że zużyty jest bieżnik prawego koła.

- ▶ O ile zmniejszy się droga przejechana przez koło w czasie 1 obrotu (w mm i procentowo)
- ▶ Jaki będzie błąd orientacji po  $1\text{s}$ ? Po  $100\text{s}$ ?

## Przykład – zadanie 3

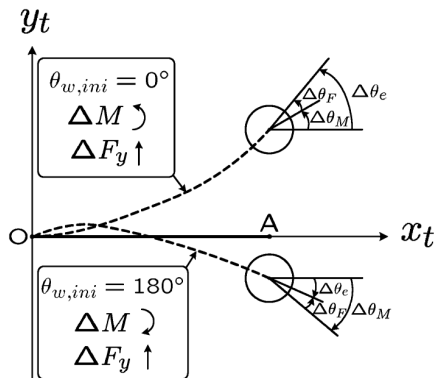
Dany jest robot z zadania 1 ( $25:1$ ,  $24\text{imp./obrot}$ ,  $r = 16\text{mm}$ ).  
Odległość między kołami wynosi  $50\text{mm} = 2d$ . Koła obracają się z prędkością kątową odpowiadającą ruchowi postępowemu  $40\text{mm/s}$ .

- ▶ Do jakiego punktu dojedzie robot po  $100\text{s}$ ?

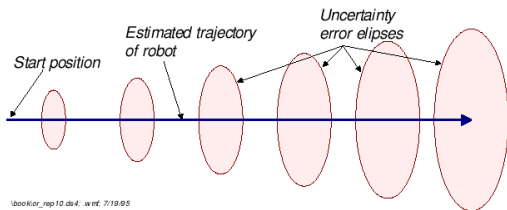
Na skutek zużycia średnica koła może się zmniejszyć o  $0.2\text{mm}$ .  
Przyjmijmy, że zużyty jest bieżnik prawego koła.

- ▶ O ile zmniejszy się droga przejechana przez koło w czasie 1 obrotu (w mm i procentowo)
- ▶ Jaki będzie błąd orientacji po  $1\text{s}$ ? Po  $100\text{s}$ ?
- ▶ Do jakiego punktu dojedzie robot po  $314\text{s}$ ?

# Przyrost błędu w czasie ruchu

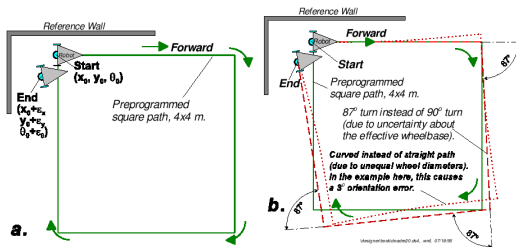


- ← N.L. Doh, H. Choset, W.K. Chung. Relative localization using path odometry information
- ↓ Borenstein, Everett, Feng, ...



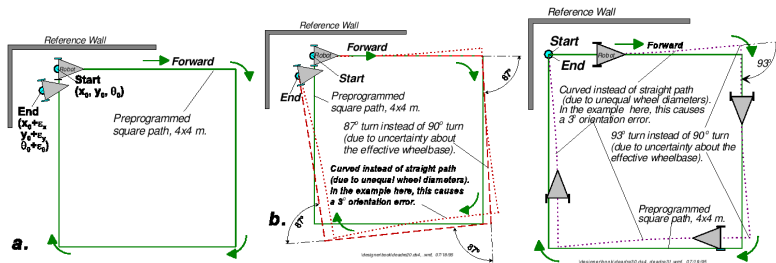
lbooklor\_rep10.dv4; wmf; 7/19/95

# Ścieżka planowana i rzeczywista

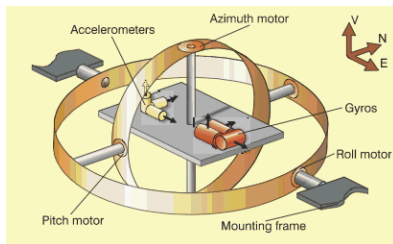




# Ścieżka planowana i rzeczywista



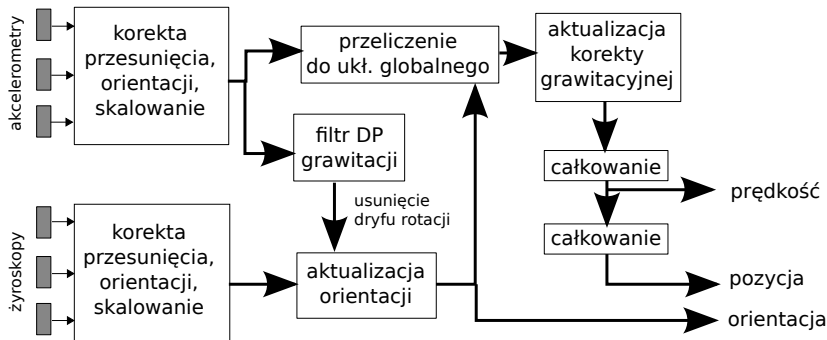
Korekta UMBmark – korekta błędów systematycznych średnic i odległości kół (cf. Borenstein rozdz. 5)



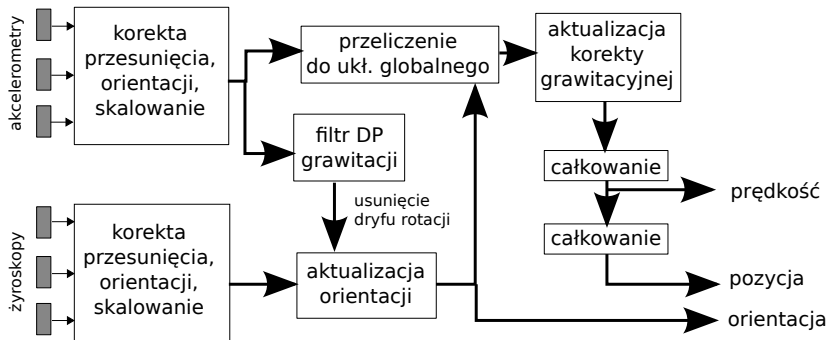
*Inertial Navigation System (INS): Inertial Measurement Unit*

*IMU + procesor pokładowy = Attitude and Heading Reference System (AHRS)*

# Nawigacja inercyjna – schemat (za J. Lobo, U.Coimbra)



# Nawigacja inercyjna – schemat (za J. Lobo, U.Coimbra)



Pytanie:

Jakie mogą być przyczyny niedokładności? Jak je eliminować?