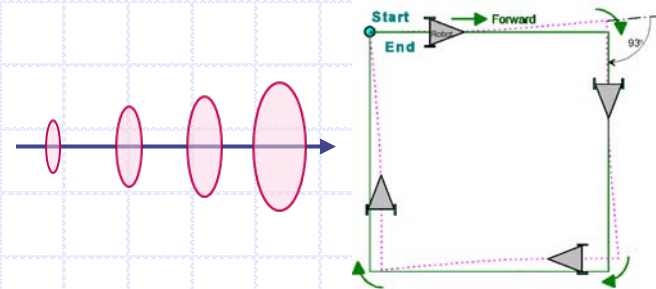


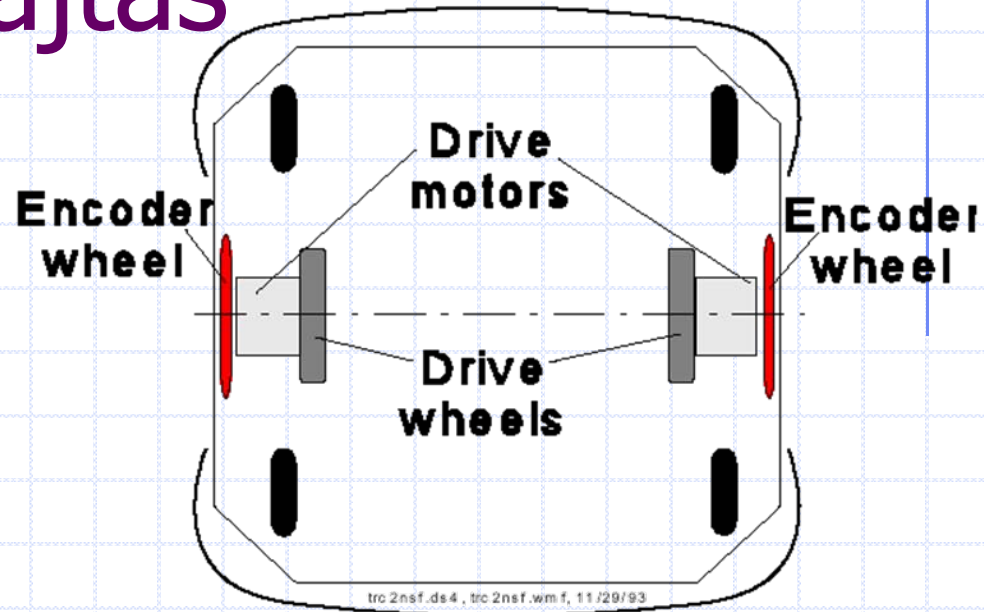
Robotika

Relatív helymeghatározás Odometria



Differenciális hajtás

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

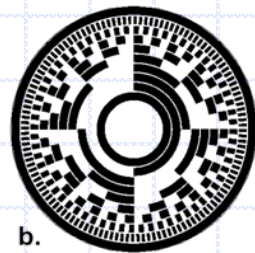
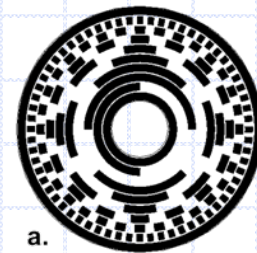


C_m = hány mm-t tesz meg a robot egy jeladó impulzusra

D_n = névleges kerék átmérő

C_e = jeladó fölbonatása (impulzus/ford.)

n = a motor és a kerék közötti áttétel

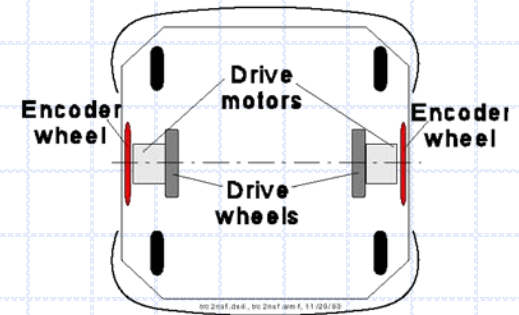


Differenciális hajtás

A bal és jobb kerék N_L és N_R jeladó impulzust ad.

A bal és jobb kerék által megtett távolságnövekmény $\Delta U_{L,i}$ $\Delta U_{R,i}$:

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

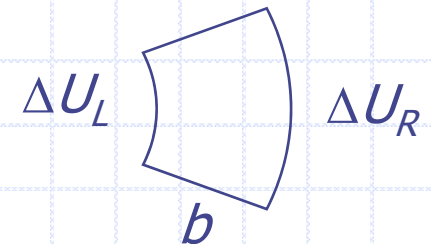


A robot középpontjának lineáris elmozdulása:

$$\Delta U_i = (\Delta U_R + \Delta U_L)/2$$

A robot irányának változása

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



ahol b a keréktávolság.

Differenciális hajtás

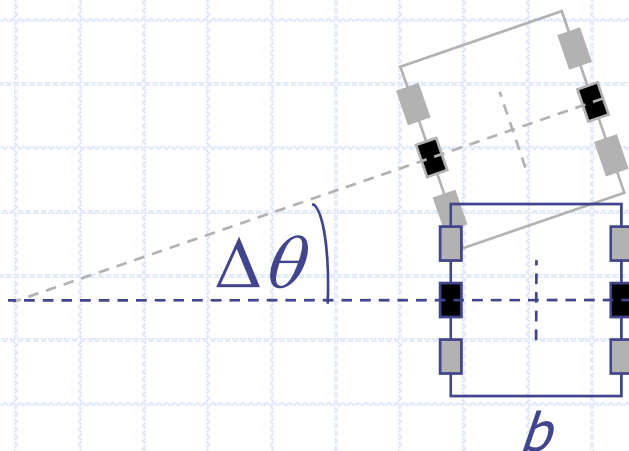
A robot új – *relatív* – iránya:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta\theta_i$$

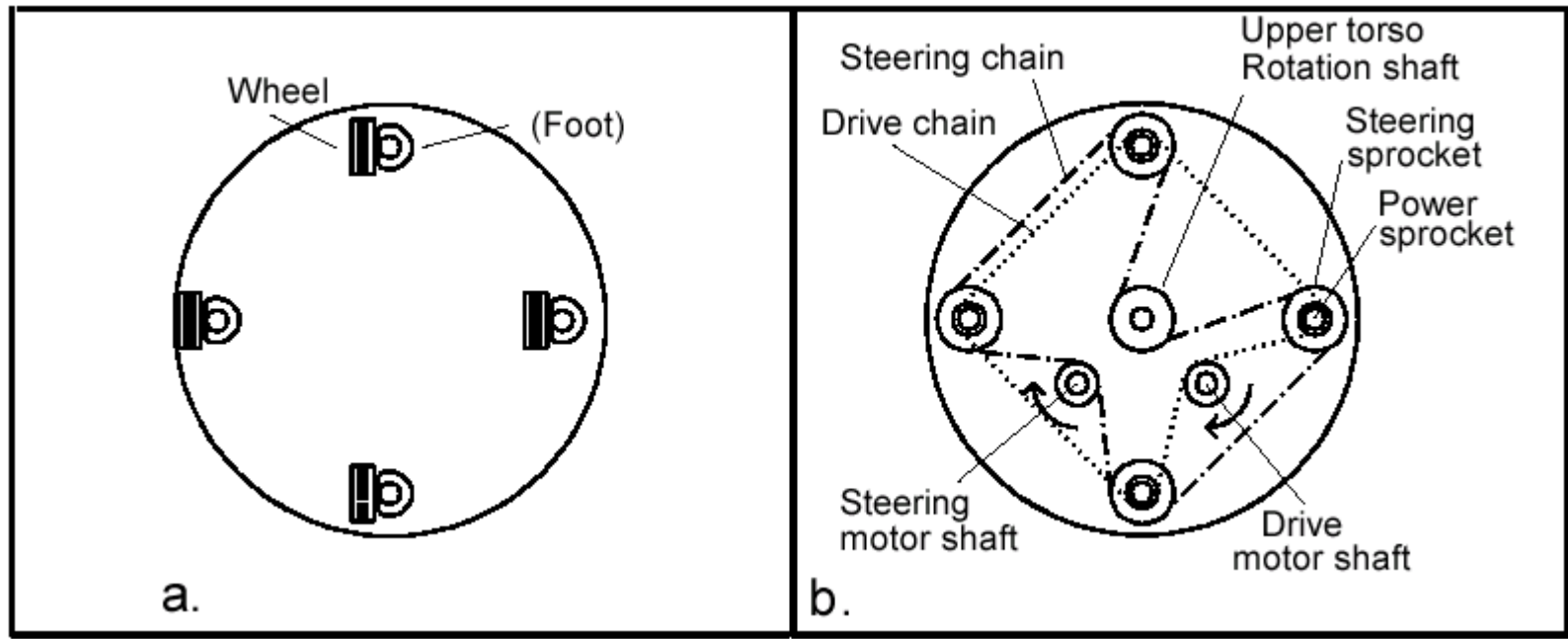
A robot középpontjának új *relatív* koordinátái:

$$x_i = x_{i-1} + \Delta U_i \cos \theta_i$$

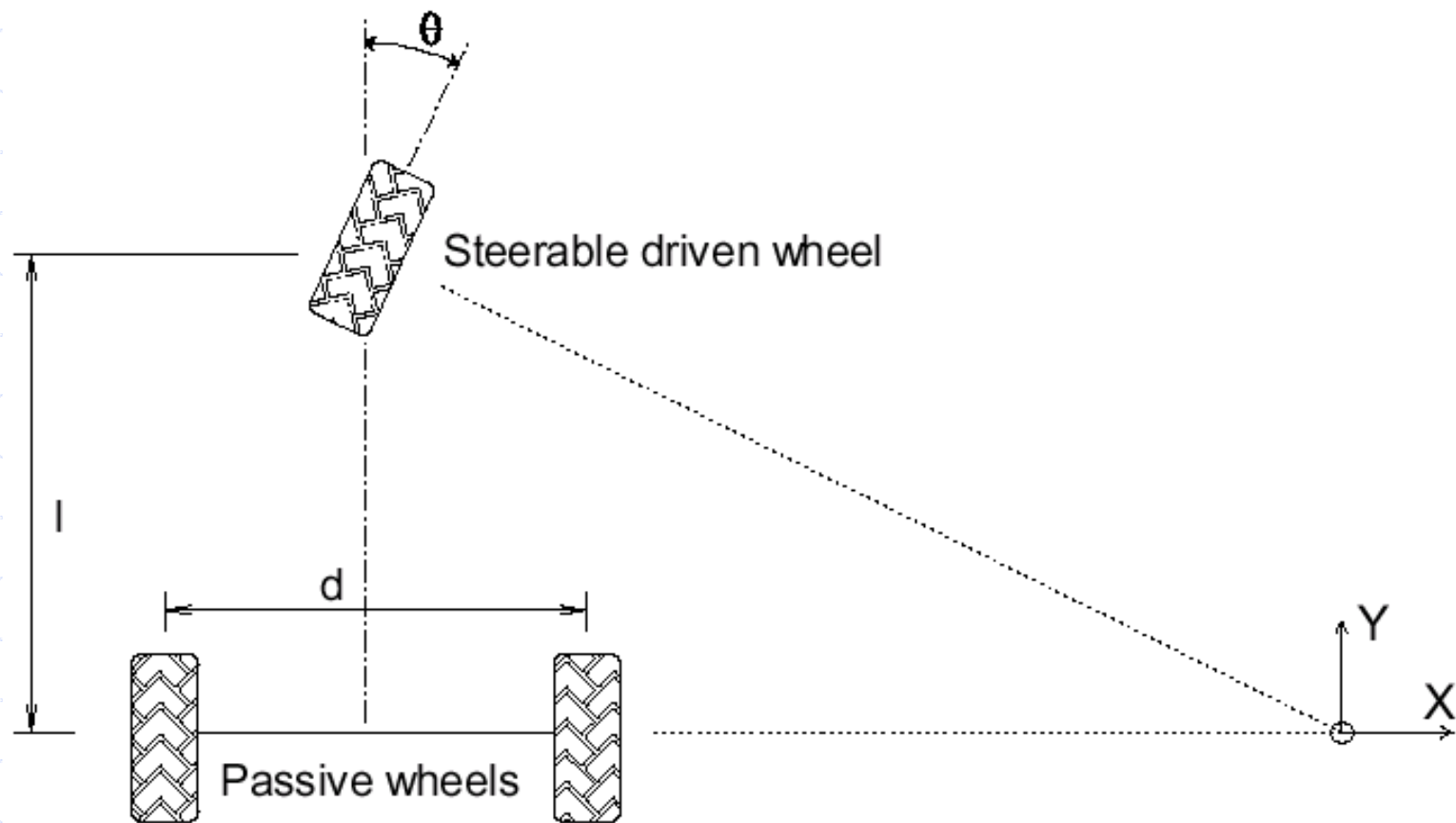
$$y_i = y_{i-1} + \Delta U_i \sin \theta_i$$



Szinkron hajtás

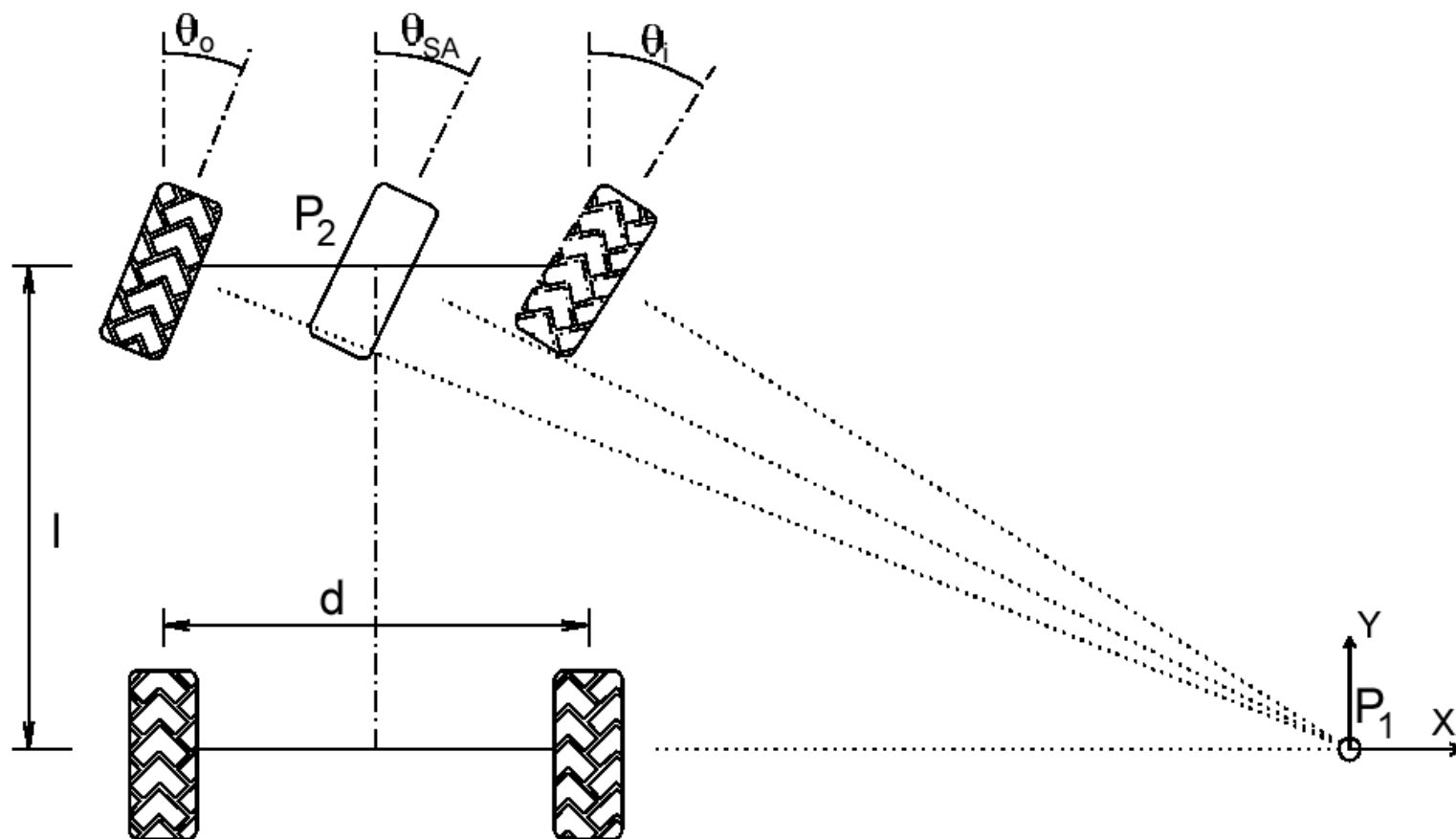


Háromkerekű hajtás



Ackerman kormányzás

- ◆ Legmegfelelőbb hajtás küső kísérletekhez

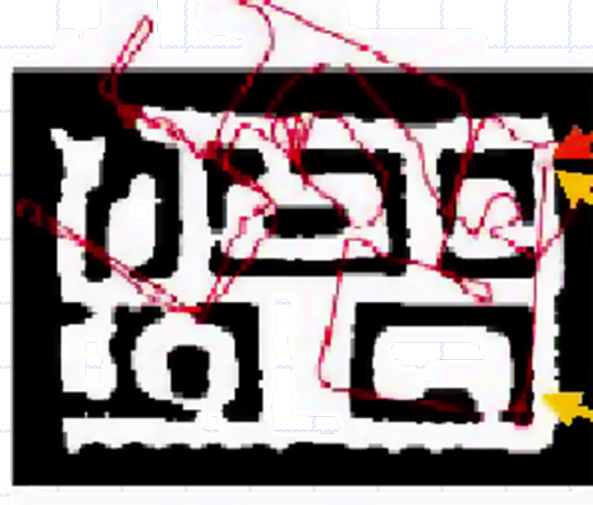


Relatív helymeghatározás

- ◆ A motorok fordulatait mérjük, amik átválthatók a robot haladási és fordulási elmozdulásaivá.
- ◆ Ha a kerékméretet és az áttételt ismerjük akkor:
motor fordulat →
→ kerékfordulat →
→ távolság, amit a robot megtett

Relatív helymeghatározási hibák

- ◆ Problémák/feladatok
 - a kerekek mozgása nem felel meg a robot mozgásának
 - a kerekek nem mozognak de a robot igen
- ◆ A hiba gyorsan összegyűlik, különösen forduláskor:



a robot indulási helye

piros vonal: a robot becsült helye a belső érzékelés alapján
pontos kezdet, de a hiba hamar összeadódik

Odometria – „lépésszámlálás”

- ◆ A legelterjedtebb navigációs módszer a mobil robotok körében.
- ◆ Rövid távon jó pontosságot biztosít, olcsó, és gyors mintavételezést tesz lehetővé.
- ◆ Alapvető elve a relatív mozgás információ időbeni összeadása
- ◆ A hibák az idővel növekszenek, különösen a helyzetbecslési hibák növekedése okoz nagy pozícióbecslési hibát, ami a megtett távolsággal arányosan nő.

Odometria – „lépésszámlálás”

- ◆ Az odometriai adatok fuzionálhatók abszolút pozíció mérésekkel a pontosabb helybecslés céljából.
- ◆ A módszer két abszolút mérés között használható. Ha növeljük a pontosságát, ritkábban kell – „költséges” – abszolút mérést végezni.
- ◆ Sok térképkészítő és útjelző illesztő algoritmus azt feltételezi, hogy a robot elég pontosan ismeri saját helyzetét ahhoz, hogy csak egy szűk tartományban keresse az útjelzőket, időt spórolva ezzel és növelve a pontosságot.

Odometriai hibák

◆ Rendszeres

- különböző kerék átmérők
- a tényleges kerékátmérők átlaga különbözik a névlegestől
- a tényleges keréktáv más mint a névleges
- a kerekek nem egy vonalban vannak
- véges jeladó felbontás
- véges jeladó mintavételezési ráta

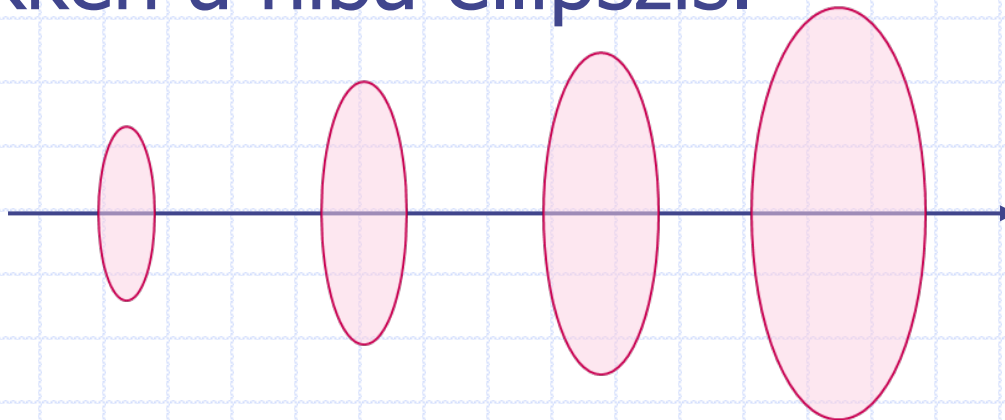
Odometriai hibák

◆ Nem rendszeres hibák

- egyenetlen úttest
- áthajtás váratlan objektumokon
- kerék csúszás:
 - ◆ csúszós út
 - ◆ kerék kipörgés
 - ◆ gyors fordulás (sodródás)
 - ◆ külső erők (egyéb tárgyak ráhatása)
 - ◆ belső erők (segéd kerekek)
 - ◆ nem ideális (pont szerű) kapcsolat a talajjal

Odometriai hibák

- ◆ A hiba ellipszis jelzi a becslés bizonytalanságát
- ◆ A megtett úttal együtt nő az ellipszis
- ◆ Egy abszolút pozíció mérés csökkenti a növekvő bizonytalanságot, ezáltal csökken a hiba ellipszis.



A helymeghatározási hiba növekedése

Odometriai hibák

- ◆ A hiba a helytelen átlagos kerék átmérő miatt:

$$E_S = D_{\text{tényl.}} / D_{\text{névl.}}$$

- ◆ A hiba a különböző kerék átmérők miatt

$$E_d = D_R / D_L$$

ahol D_R és D_L a tényleges átmérők

- ◆ A hiba a különböző keréktávolság miatt

$$E_b = b_{\text{tényleges}} / b_{\text{névleges}}$$

ahol b a jármű keréktávolsága

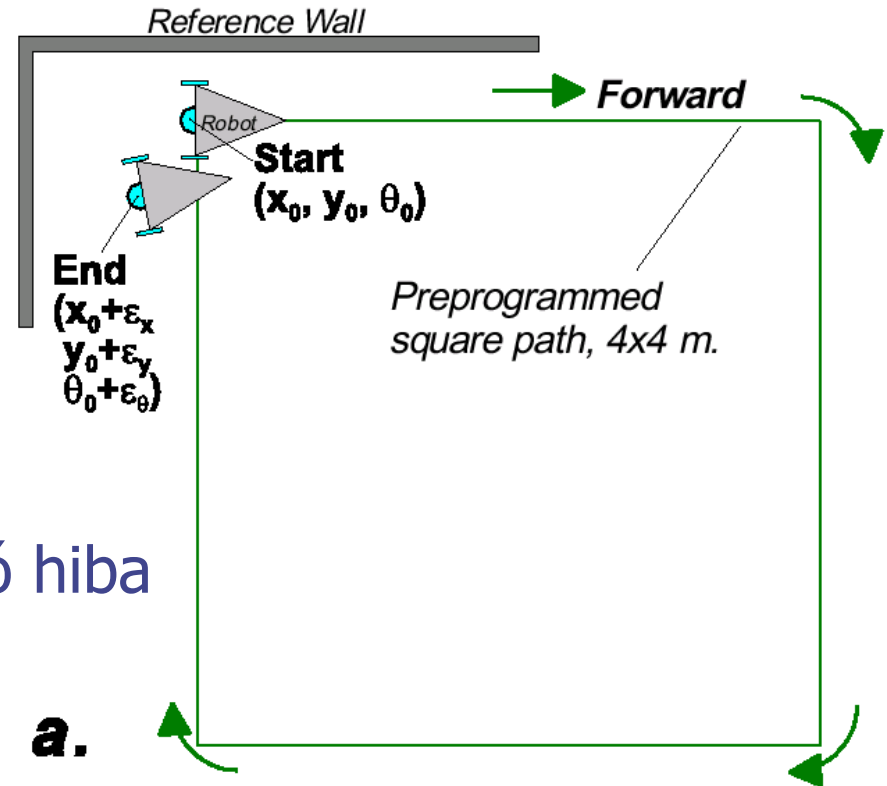
Egyirányú négyszög kísérlet

$$\varepsilon_x = X_{abs} - X_{calc}$$

$$\varepsilon_y = Y_{abs} - Y_{calc}$$

$$\varepsilon_\theta = \theta_{abs} - \theta_{calc}$$

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_\theta$ odometria miatti
helyzet és pozíció hiba

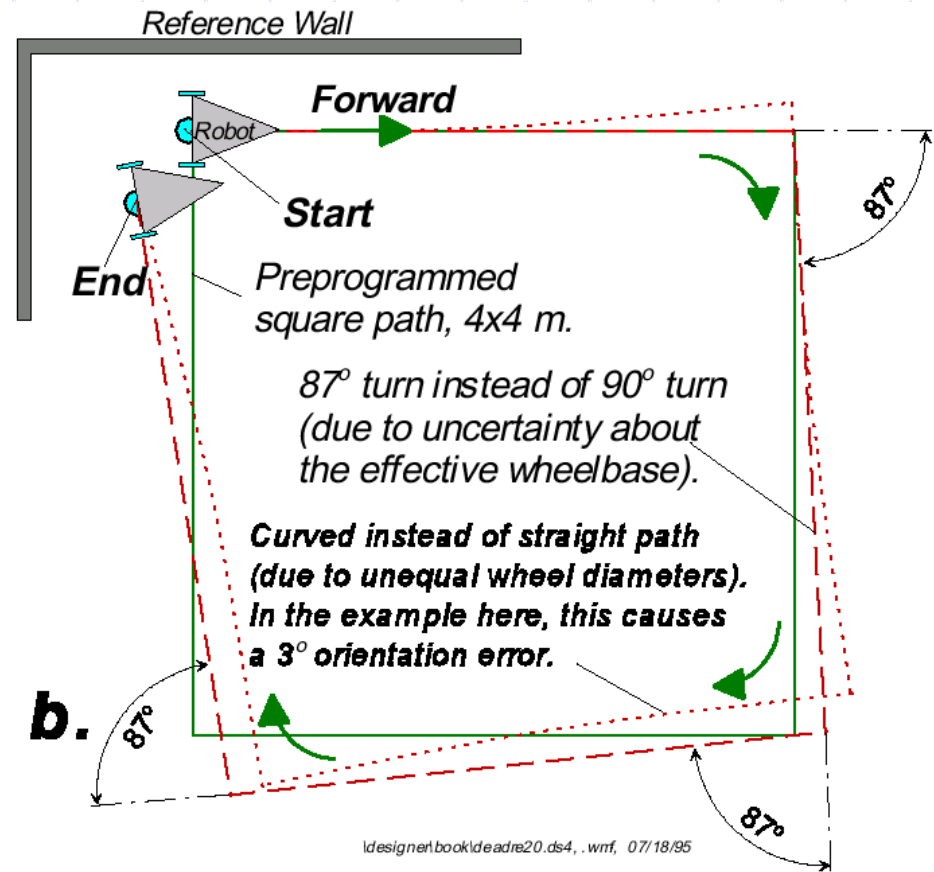


$X_{abs}, Y_{abs}, \theta_{abs}$ a robot abszolút helye és helyzete

$X_{calc}, Y_{calc}, \theta_{calc}$ a robot számított helye és helyzete

Egyirányú négyszög kísérlet

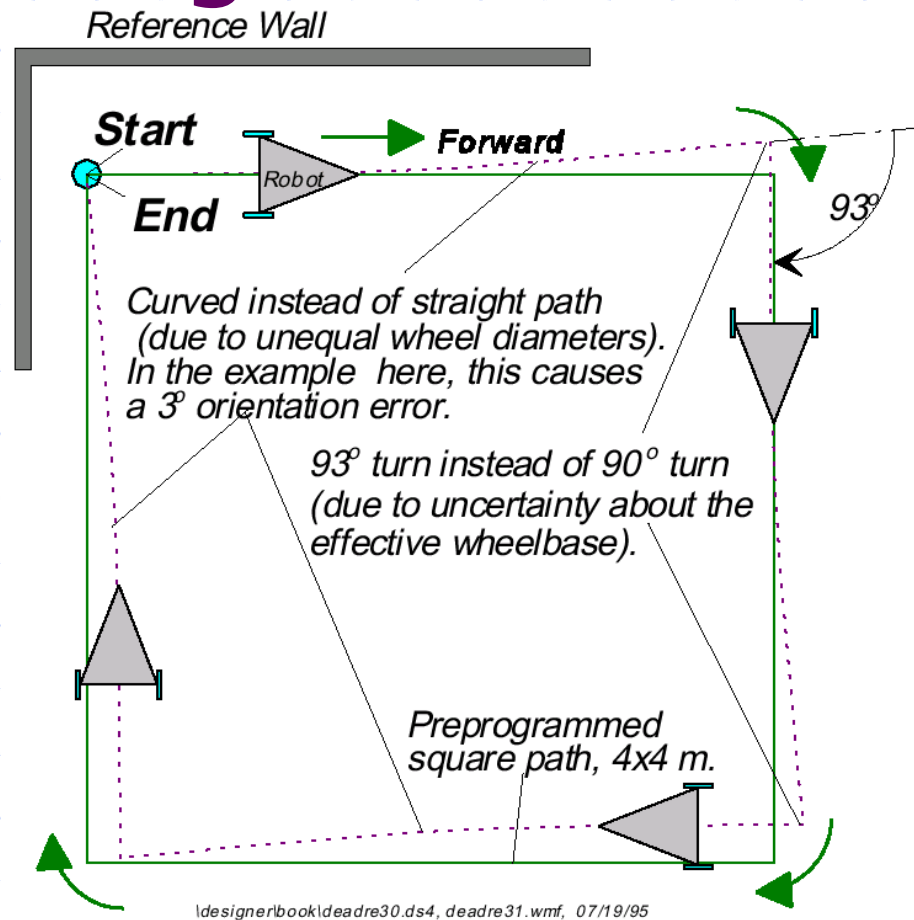
E_d vagy E_b okozhatja a hibát.



Az út négy egyenes szakaszból és négy tiszta fordulásból (a robot középpontja körüli) áll.

Egyirányú négyszög kísérlet

- E_d vagy E_b okozhatja a hibát.
- Az egyirányú négyszög kísérletben a hibák kiejthetik egymást, mert E_d és E_b függetlenek.



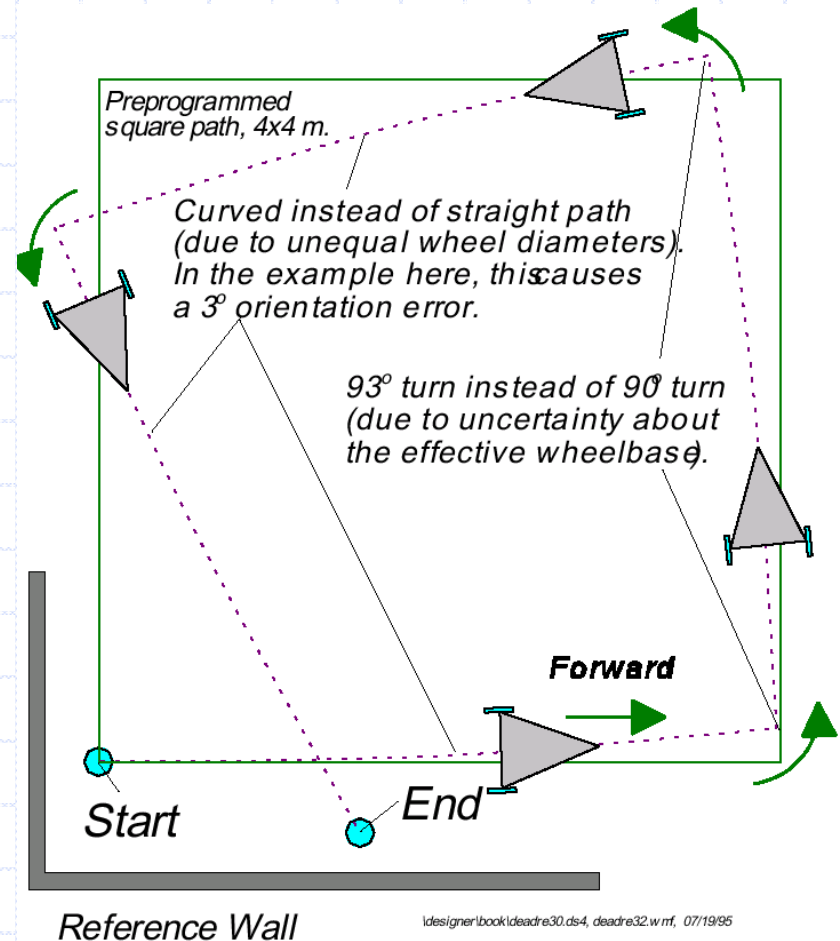
- Az egyirányú négyszög kísérlet nem alkalmas a rendszeres hibák megbízható mérésére

Kétirányú négyszög kísérlet

A körbejárást mindkét irányba el kell végezni

A kiegyenlítődött hibák nyilvánvalóak lesznek

A két domináns hiba összadódik és megnöveli az átlagos hibát, amikor az ellenkező irányba is körbemegy a robot.



Kétirányú négyszög kísérlet

$$X_{c.g.,cw/ccw} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i,cw/ccw}$$

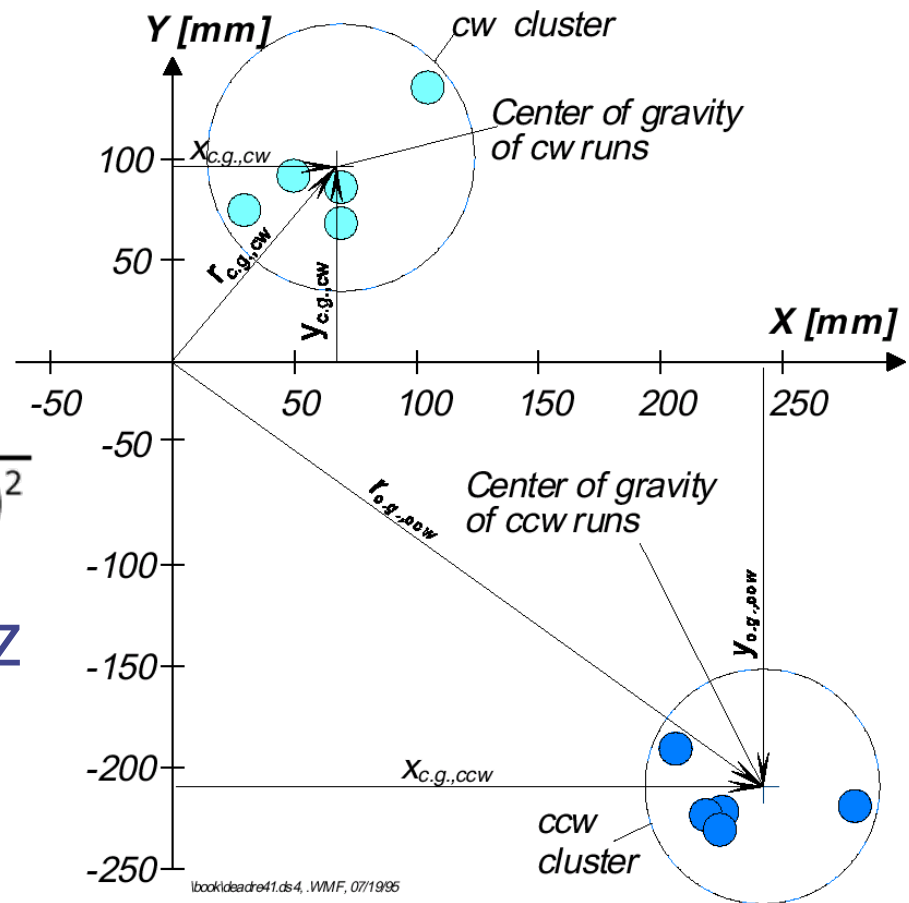
$$Y_{c.g.,cw/ccw} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{i,cw/ccw}$$

$$r_{c.g.,} = \sqrt{(X_{c.g.,cw})^2 + (Y_{c.g.,cw})^2}$$

$$r_{c.g.,ccw} = \sqrt{(X_{c.g.,ccw})^2 + (Y_{c.g.,ccw})^2}$$

A nagyobb r adja meg az odometriai rendszeres hiba mértékét:

$$E_{\max, syst} = \max(r_{c.g.,cw}; r_{c.g.,ccw}).$$



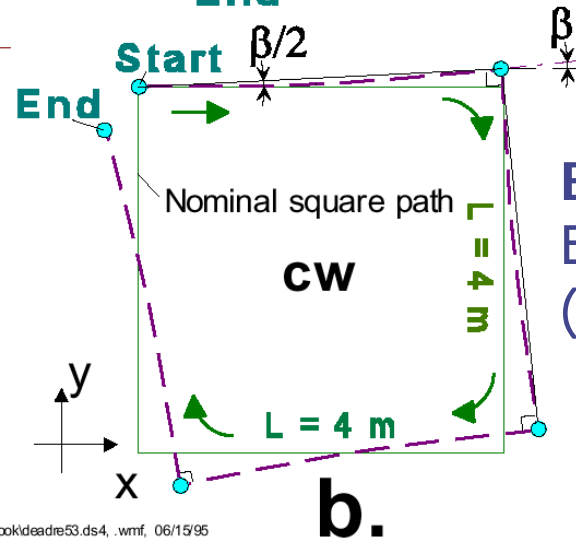
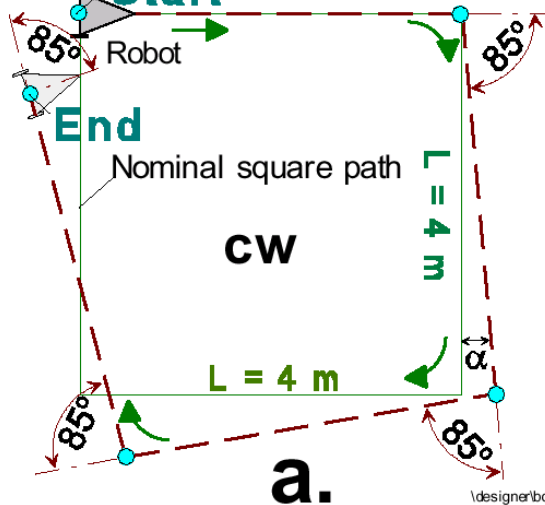
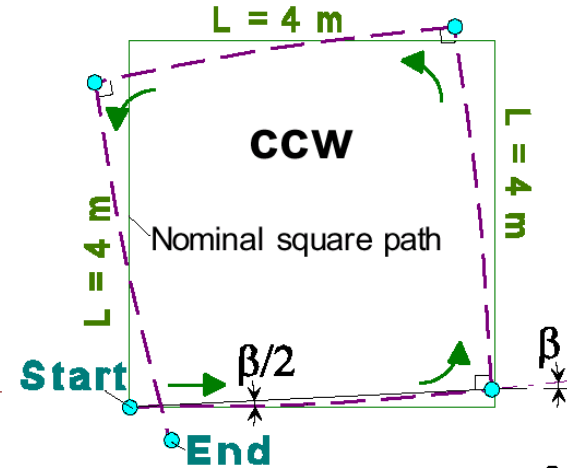
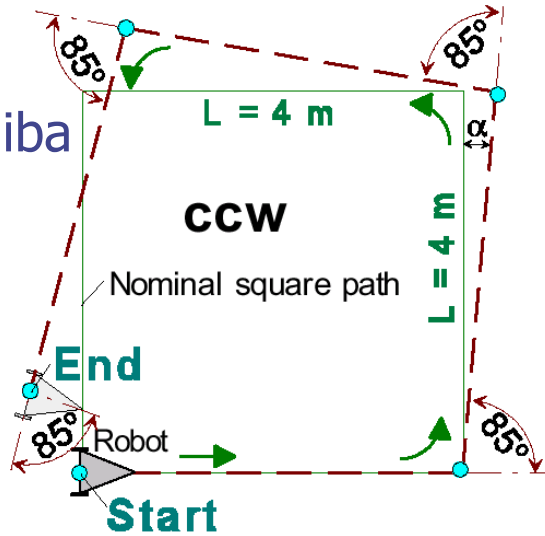
Rendszeres hiba kalibrálás

„A” típusú hiba az az orientációs (helyzetbeli) hiba, ami **csökkenti (növeli)** a robot összes fordulását a négyzet kísérlet alatt **mindkét irányban**

„B” típusú hiba az az orientációs (helyzetbeli) hiba, ami **csökkenti (növeli)** a robot összes fordulását a négyzet kísérlet alatt **az egyik irányban, de növeli (csökkenti)** a másik irányban.

Rendszeres hiba kalibrálás

A típusú hiba
 E_b
(a kerék
távolság)



B típusú hiba
 E_d
(kerék átmérő)

Rendszeres hiba kalibrálás

Keréktávolság eltérés miatti hiba esetén a robot a kívántnál kisebbet (*nagyobbat*) fordul mindkét irányban.

$$|\theta_{total,cw}| < |\theta_{nominal}| \quad \text{és} \quad |\theta_{total,ccw}| < |\theta_{nominal}|$$

A különböző kerékátmérő miatti hiba esetén az egyenes út íves lesz és a hiba az egyik irányban csökkenti, míg a másik irányban körbejárva növeli a fordulást.

$$|\theta_{total,ccw}| > |\theta_{nominal}| \quad \text{de} \quad |\theta_{total,cw}| < |\theta_{nominal}|$$

„A” típusú hiba (ellentétes)

$$x_1 = x_0 + L$$

$$y_1 = y_0$$

$$x_2 = x_1 + L \sin \alpha \approx L + L\alpha$$

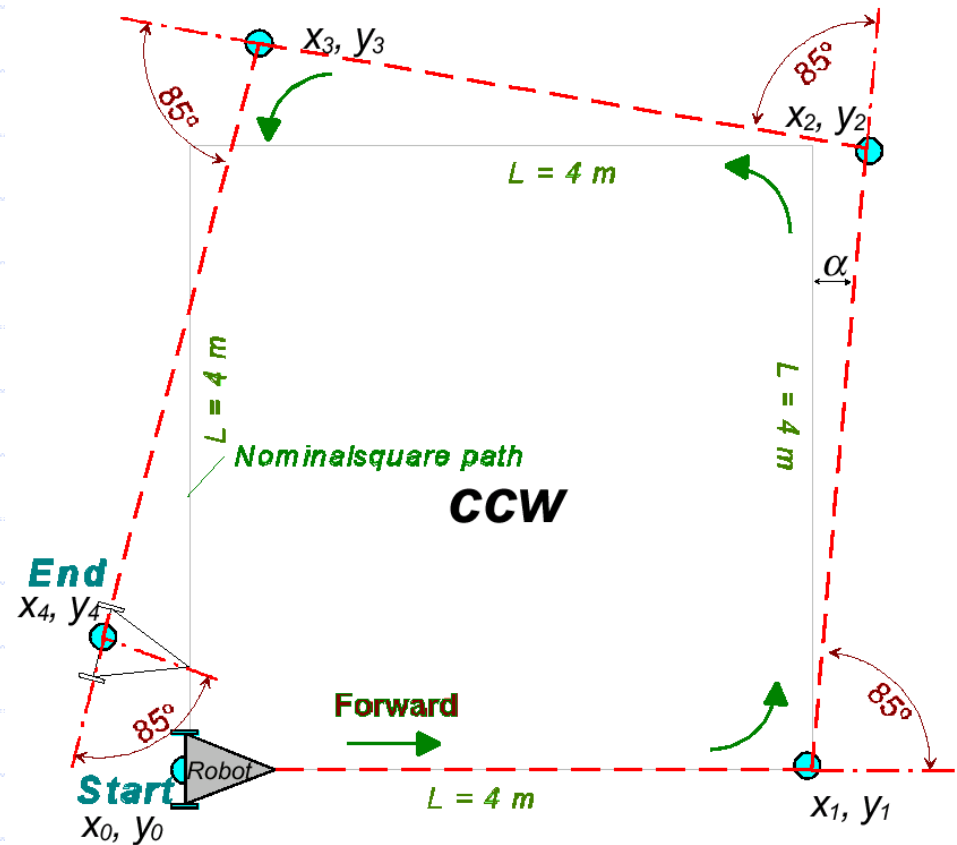
$$y_2 = y_1 + L \cos \alpha \approx L$$

$$x_3 = x_2 - L \cos 2\alpha \approx L\alpha$$

$$y_3 = y_2 + L \sin 2\alpha \approx L + 2L\alpha$$

$$x_4 = x_3 - L \sin 3\alpha \approx -2L\alpha$$

$$y_4 = y_3 - L \cos 3\alpha \approx 2L\alpha$$



„A” típusú hiba szögeltérésének számítása

- Az A típusú hibát túlnyomórészt E_b okozza
- Az A típusú hiba túl nagy vagy túl kicsi fordulást eredményez a sarkoknál
- A hibás fordulás nagysága szögben megadva:

$$\alpha = \frac{Y_{c.g.,cw} - Y_{c.g.,ccw}}{-4L} \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\alpha = \frac{X_{c.g.,cw} + X_{c.g.,ccw}}{-4L} \frac{180^\circ}{\pi}$$

B típusú hiba (óra szerinti irány)

$$x_1 = x_0 + L \cos(\beta / 2) \approx L$$

$$y_1 = y_0 + L \sin(\beta / 2) \approx L\beta / 2$$

$$x_2 = x_1 + L \sin(3\beta / 2) \approx L + 3L\beta / 2$$

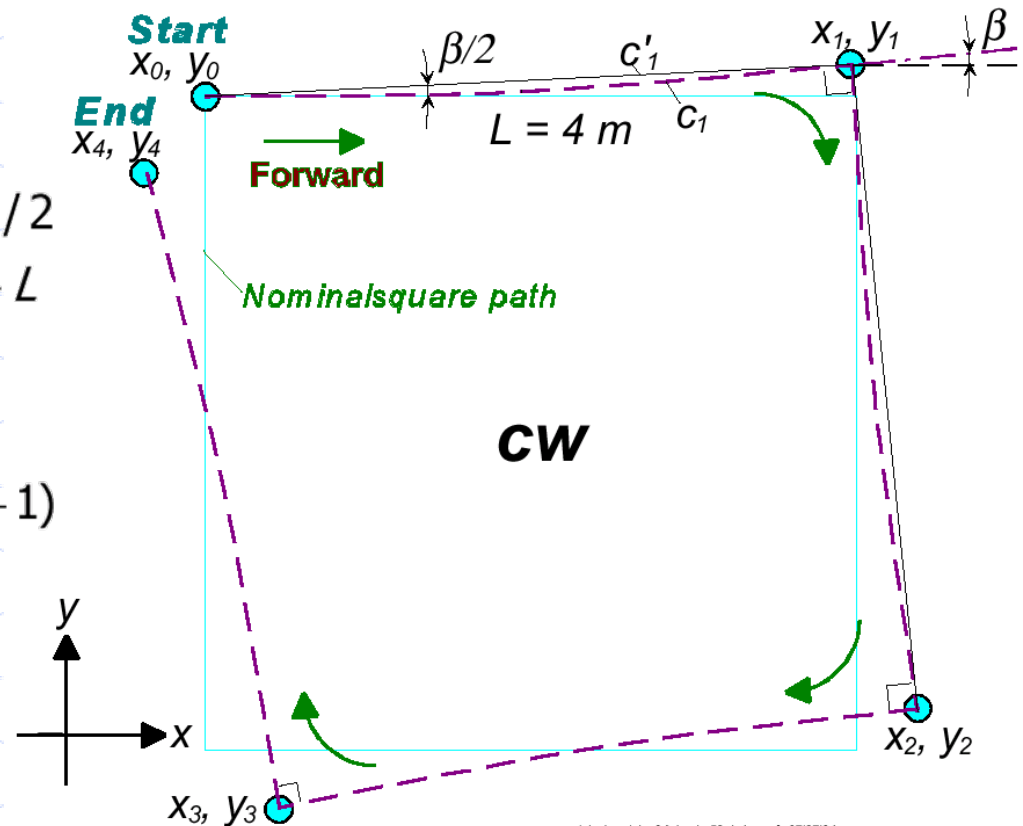
$$y_2 = y_1 - L \cos(3\beta / 2) \approx L\beta / 2 - L$$

$$x_3 = x_2 - L \cos(5\beta / 2) \approx 3L\beta / 2$$

$$y_3 = y_2 - L \sin(5\beta / 2) \approx -L(2\beta + 1)$$

$$x_4 = x_3 - L \sin(7\beta / 2) \approx -2L\beta$$

$$y_4 = y_3 + L \cos(7\beta / 2) \approx -2L\beta$$



B típusú hiba szögeltérésének számítása

A és B hiba együttesen óra szerint körüljárva, x irányban:

$$\mathbf{x}_{cw} : -2L\alpha - 2L\beta = -2L(\alpha + \beta) = X_{c.g.,cw}$$

$$\mathbf{x}_{ccw} : -2L\alpha + 2L\beta = -2L(\alpha - \beta) = X_{c.g.,ccw}$$

egymásból kivonva:

$$-4L\beta = X_{c.g.,c.w.} - X_{c.g.,ccw}$$

$$\beta = \frac{X_{c.g.,cw} - X_{c.g.,ccw}}{-4L} \frac{(180^\circ)}{\pi}$$

Az y irányban is hasonló eredményt kapunk:

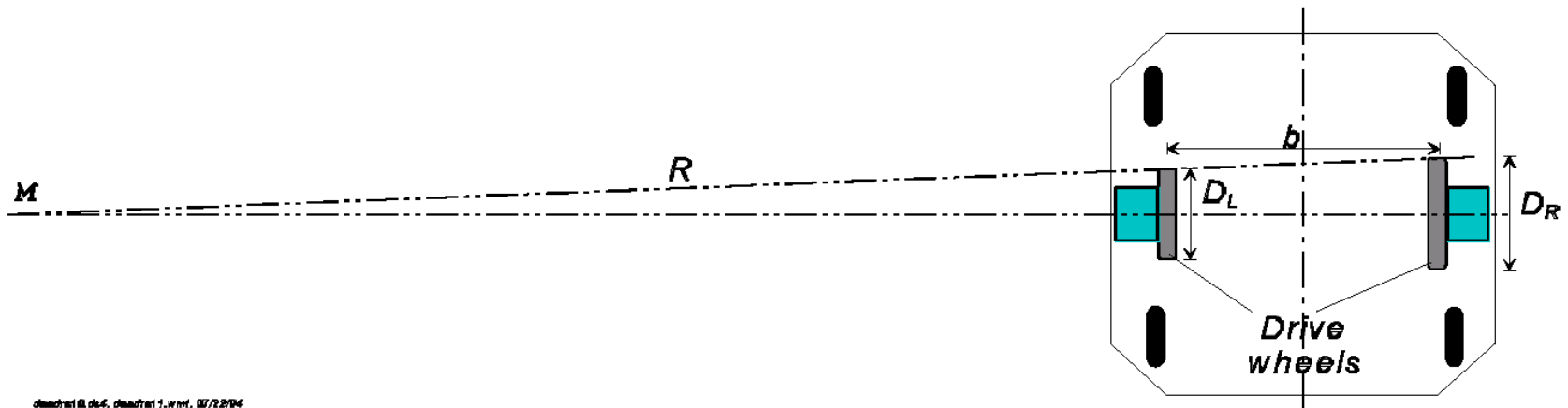
$$\beta = \frac{Y_{c.g.,cw} + Y_{c.g.,ccw}}{-4L} \frac{(180^\circ)}{\pi}$$

A különböző kerék átmérők miatti hiba

Ha megvan R , E_d -t, a két kerék átmérőjének arányát már könnyű meghatározni:

$$R = \frac{L/2}{\sin \beta/2}$$

$$E_d = \frac{D_R}{D_L} = \frac{R + b/2}{R - b/2}$$



A helytelen keréktávolság miatti hiba

$$-4L\alpha = X_{c.g.,cw} + X_{c.g.,ccw}$$

$$\alpha = \frac{X_{c.g.,cw} + X_{c.g.,ccw}}{-4L} \frac{(180^\circ)}{\pi}$$

$$\alpha = \frac{Y_{c.g.,cw} - Y_{c.g.,ccw}}{-4L} \frac{(180^\circ)}{\pi}$$

$$\frac{b_{actual}}{90^\circ} = \frac{b_{nominal}}{90^\circ - \alpha}$$

$$b_{actual} = \frac{90^\circ}{90^\circ - \alpha} b_{nominal}$$

$$E_b = b_{actual} / b_{nominal}$$

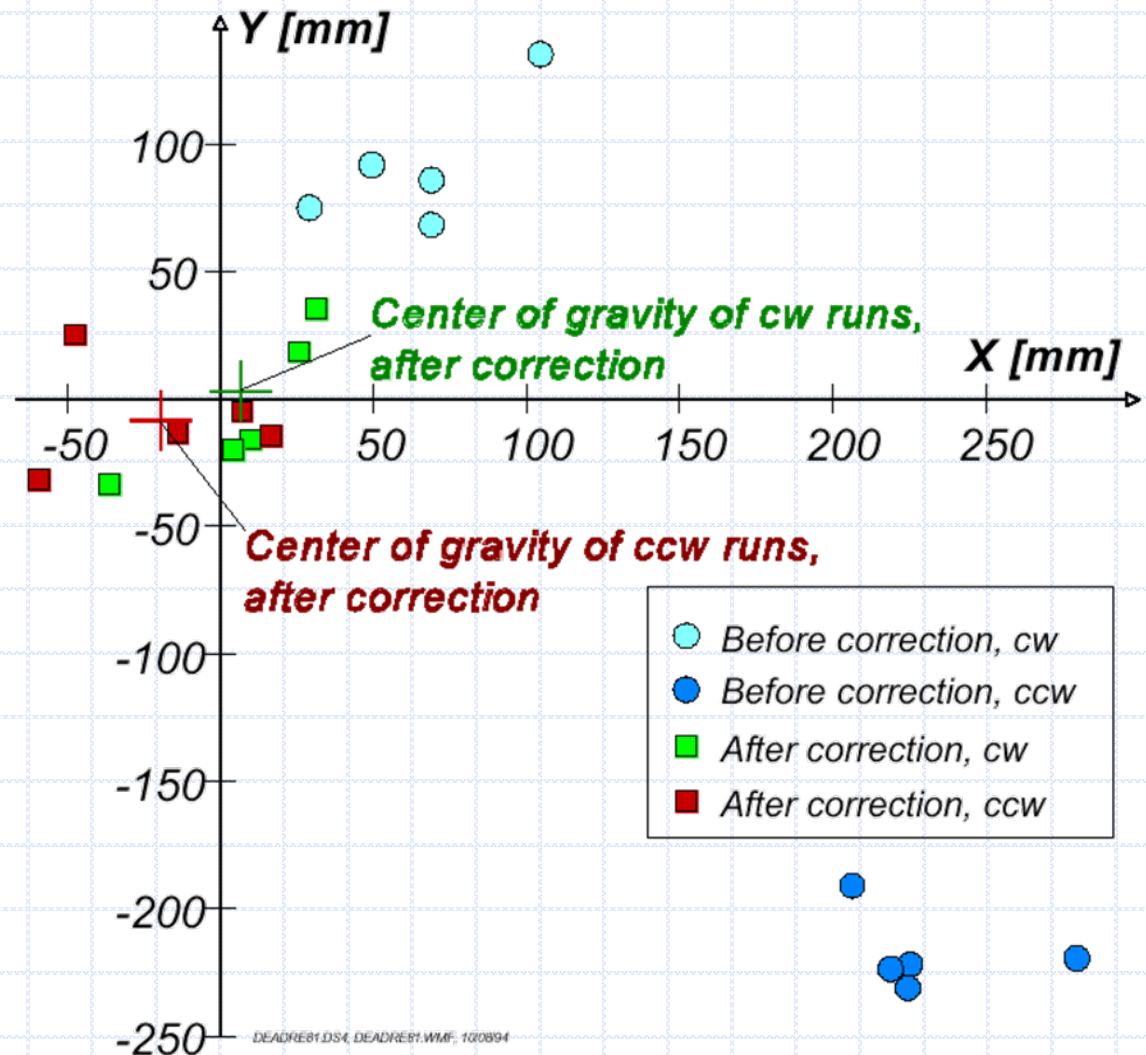
$$E_b = \frac{90^\circ}{90^\circ - \alpha}$$

A hiba kalibrálás előtt és után

A pozíció hibák a kétirányú négyszög kísérlet után

Kalibrálás előtt
 $b=340\text{mm}$ $E_d=1$

Kalibrálás után
 $b=336.17\text{mm}$
 $E_d=1.00084$



A nem rendszeres hiba csökkentése

◆ Gyorsulásmérők

- mems

◆ Giroszkóp

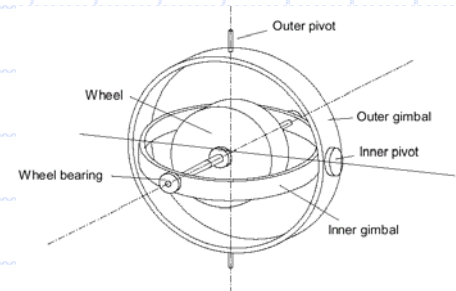
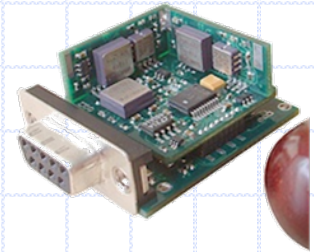
- mechanikai
- optikai

- ◆ gyűrűs lézer, száloptikai

◆ Föld mágnesesség szenzor

◆ INS – inertial navigation system

Kálmán szűrős javítás szükséges!



Odometria - összefoglalás

- ◆ Központi eleme majd minden mobil navigációs rendszernek
- ◆ A technika javítása nem szüntetheti meg a hibát – szükséges a rendszeres abszolút helyzet információ
- ◆ A pontosabb mérés csökkenti az abszolút helyzet információ iránti pontosság igényt segítve ezzel a térkép és útjelző alapú navigációt.