

Senzory pro mobilní robotiku

- slouží jako zdroj dat pro
 - lokalizaci robota v prostředí (určení x, y, φ)
 - navigaci robota (provedení prostředím po plánované stacionární trajektorii, bez kolizí)
 - rekonstrukci a udržbu modelu prostředí (vytvoření mapy světa)

- rozdělení senzorů
 - < aktivní
 - < prostorově soustředěné
 - < distribuované (např. část systému se nachází mimo robot)
 - < pasivní

▷ pasivní senzory

- nepřijímají žádnou energii ke zjištění vlastností prostř.
- pozorování se opírá o vložení fyzikální vlastnosti prostředí

pr. videokamera, kompas, gyroskop, akcelerometr, odometrie, atd.

▷ aktivní senzory

- ke zjištění určité vlastnosti prostředí je potřeba vynaložit energii

pr. sonar, LIDAR, RADAR, PHD kamera, IR senzor přiblížení, atd.

- o Co je vlastně třeba zjišťovat pro splnění zákl. úloh mobilních robotů?
(lokalizace, navigace a správa modelu prostředí)
- ▷ polohu robotu x, y (nebo x, y, z pro 3D)
- ▷ orientaci robotu φ
- X rychlosti a případná zrychlení nejsou příliš zajímavá

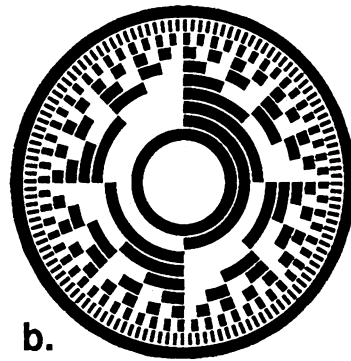
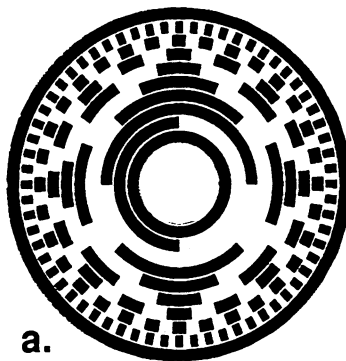
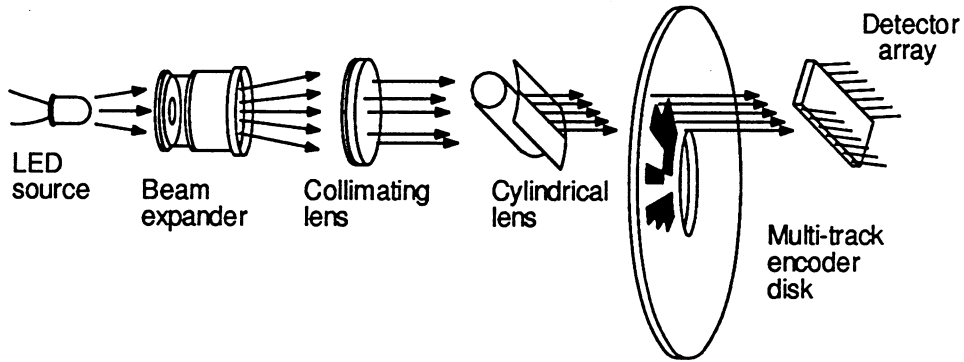
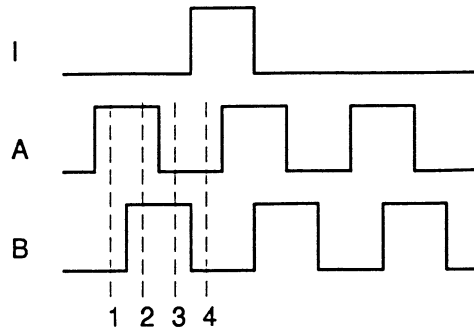
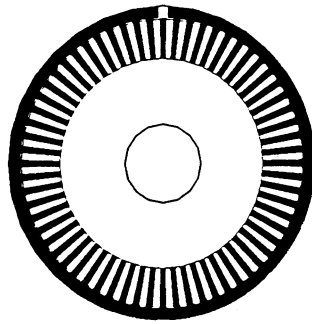
Způsoby určování x, y, φ (některé):

- 1) Dead Reckoning (tzv. počítání ujeté trajektorie)
 - ▷ především kolové a pásové podvozky
 - ▷ založeno na měření odčtek kol robotů (nebo pohybu klauzů)
 - ▷ nejčastější princip - optické enkodéry
 - ▷ možno též: mechanické enkodéry, indukční snímače - tzv. resolvers, postupy založené na zpracování obrazů vypočtené korelací, polencionometry, atd.

Základní typy rotačních enkodérů (IRC):

- ▷ relativní - poskytují pouze změnu úhlu natočení hřídele vč. směru změny
 - kódový kotanč s říz. potunutyjmi pruhy (2 stopy)
- ▷ absolutní - poskytují kompletní informaci o poloze natočení hřídele v $(0, 2\pi)$
 - kódový kotanč s binárním nebo Grayovým kódem

Funkční principy IRC:



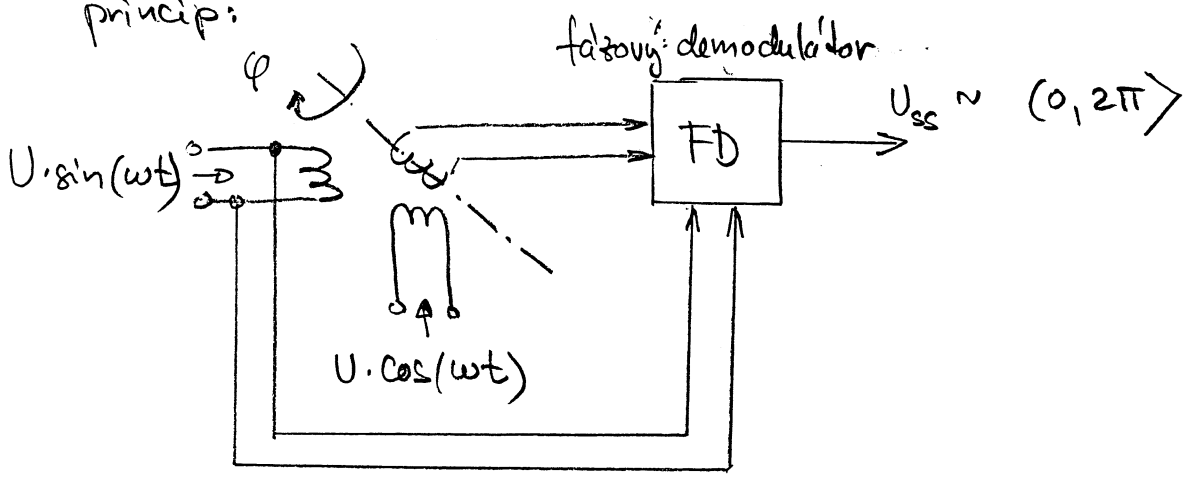
Výhody a nevýhody opt. IRC:

- + nízká cena
- + digitální výstup
- menší rozlišení u levnějších systémů

▷ indukční směnače - tzv. resoluční

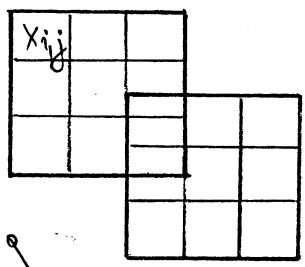
- o spojitá směnače s libovolným rozsahem $(0, 2\pi)$
- o vyžaduje analogové zpracování signálu
- o přesné ale drahé

princip:

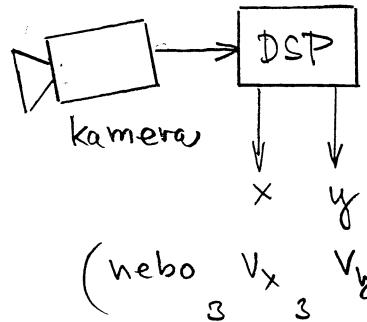


▷ optické korelační odometry (viz. optická myš)

- o výpočet 2D korelace neSučredu x a y na obraze
- scény o rozměru typicky 3×3 pixely



$[k, m]$... posun mezi 2-ma vzhledy



$$R(k, m) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 X(i, j) \cdot X(i-k, j-m)$$

posunutí odpovídá $[k, m]$ takového

kde je $\max R(k, m)$

$$k=0..2$$

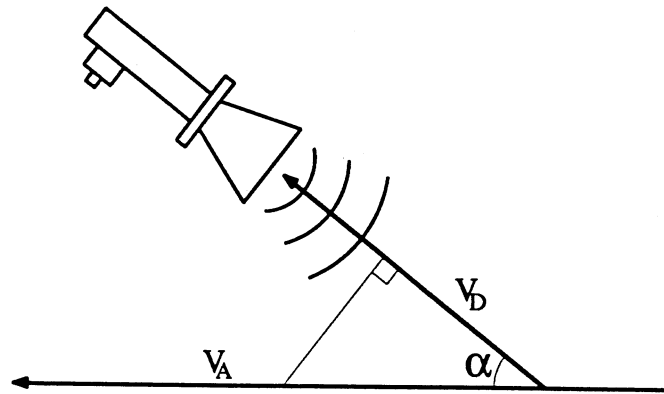
$$m=0..2$$

o výhody a nevýhody optických korelačních senzorů:

- + rychlá odezva ($> 100\text{ Hz}$)
- + nízká cena
- malý dosah
- často ne zcela reprodukovatelné měření (systematická chyba měření \sim řádu %)

▷ měření rychlosti vůči povrchu (ground speed)

- o dopplerovské měření rychlosti
- o využití v mikrovlnné oblasti $\sim 10\text{ GHz} - 5\text{ GHz}$



o skutečná rychlost vůči povrchu V_A

$$V_A = V_D / \cos \alpha = \frac{c \cdot F_D}{2 F_0 \cos \alpha}, \quad \text{pro } \underline{\underline{V_D \ll c}}$$

V_D ... měření doppler. rychl.

c ... rychlost světla

F_D ... doppler. posuv frekvence F_0 ... vysílací frekvence

o vlastnosti dopplerovského měřiče rychlosti :

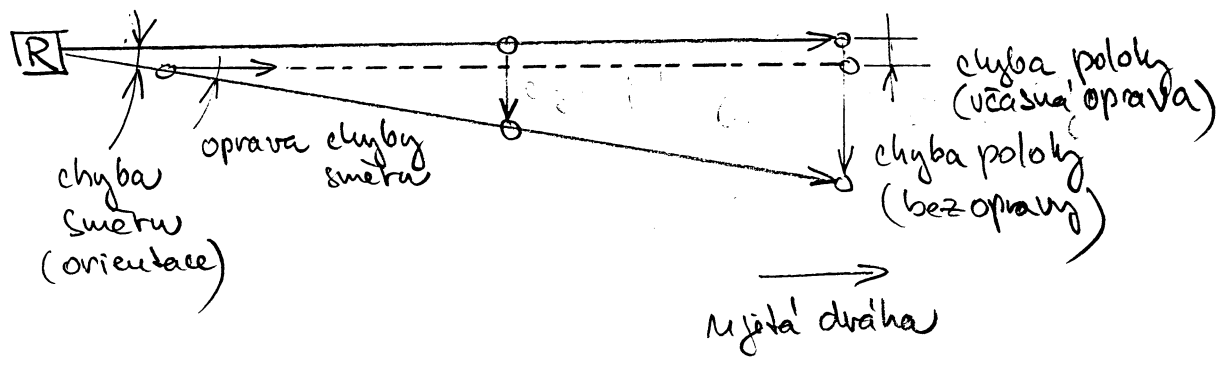
- + velký rozsah rychlosti, přesně v chybě < 1%
- + robustní řešení, nevyžaduje viditelnost
- cena zařízení
- chyby způsobené postranními laloky zářiče (registrace okolních objektů)
 - o transparentnost některých materiálů pro mikrovlny
 - o problémy polybutyleno se pátkladu -
- např. tekoucí voda

pozn.

princip lze realizovat i s využitím ultrazvuku (končí fokusovaní měřičů poprsku +
 + projev relativistického chování, vplachí
 že $v_D \ll c$), - rychlost zvuku závisí
 na teplotě.

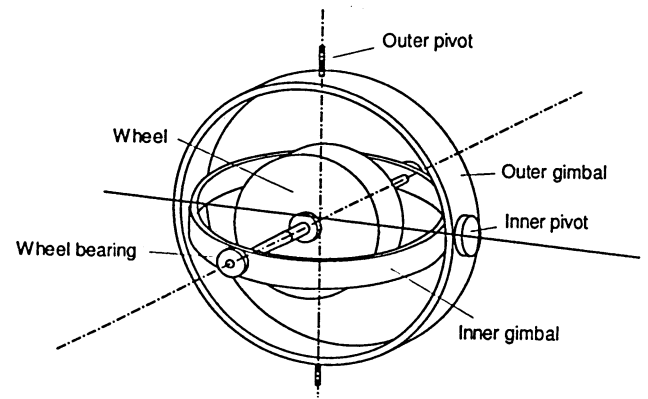
2) Sensory Směru (Heading Sensors)

- o určení směru pohybujícího se robota je důležité z hlediska vzniku kumulativních chyb
 - o malá chyba v určení okamžitého směru způsobí konstantně rostoucí chybu polohy robota (proporcionálně její vzdálenosti)



D mechanický gyroskop

- o volně zavěšený rotující setrvačnický 2-osý provedení

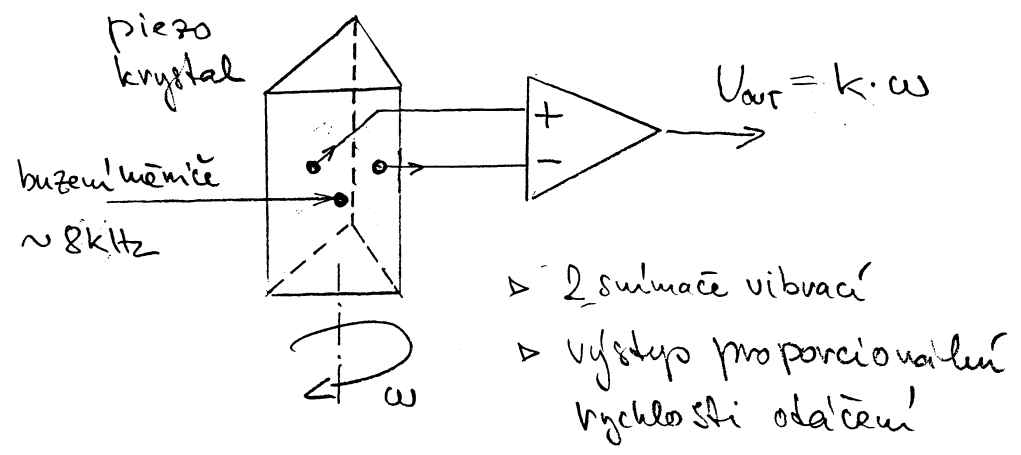


- o chování podle zákona vztahu $\vec{M} = \vec{J} \cdot \omega \times \vec{\Omega}$
 - M - vstupní moment
 - J - moment setrvačnosti
 - ω - úhl. rychl. otáčení setrv.
 - Ω - úhlová rychlost ~~PREDEČE~~

- o 2 základní třídy gyroskopů - měření úhlové rychlosti nebo úhlové odchylky (integrace gyroskopů)
- o přesnost mechanických gyroskopů (letecký 0.1°/6h)
- o gyrokompasy - orientace osy gyroskopu do směru S-J (nahrazuje magnetický kompas)
- o mechanické gyroskopy jsou přesné (malý drift) ale velmi nákladné (~100k - 1M Kč) a proto se nahrazují gyroskopy nebo úplně fází.

a) piezoelektrické gyroskopy

o využití principu Coriolisovy síly:



o vlastnosti

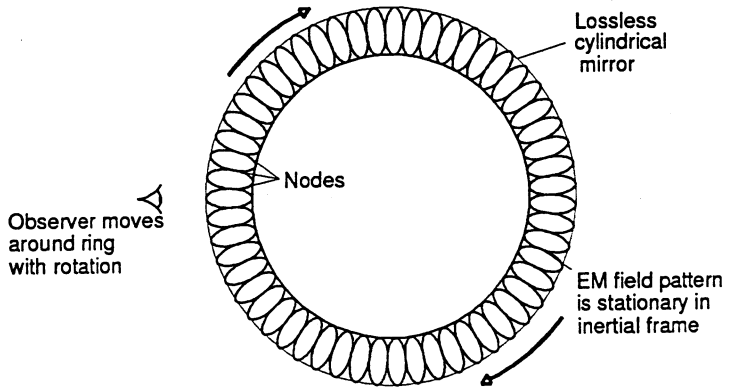
- + nízká cena
- leptotný drift, časový drift ~ 10°/min

pozn. - princip modelářských gyroskopů

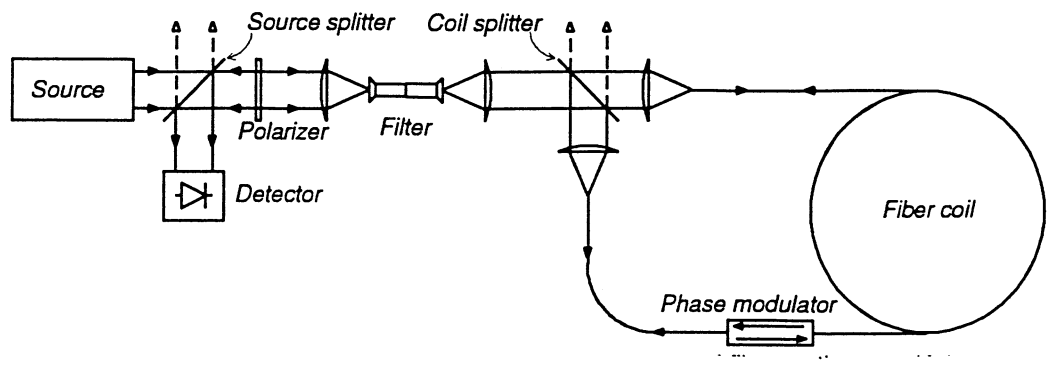
b) Optické gyroskopy

- o založeno na relativistickém principu zkrácení vlnové délky světla v kruhovém světlovodu (Sagnacův jev, monochromatické světlo)
- o úhlová rychlost otáčení gyroskopu je registrována jako počet průchodů uzlinákníků stojatého vlnění v kruhovém vlnovodu.
- o mnoho provedení (vlnovody - optická vlákna, systémy zrcadel ap.), obvykle 3D provedení
- o vysoká přesnost / citlivost $\sim 10^{-6}$ rad/sec
 $\sim 10^{-5}$ rad/hod

princip optického gyra (1 osa)

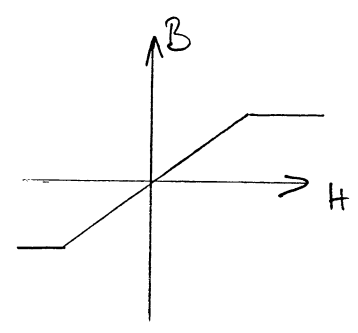
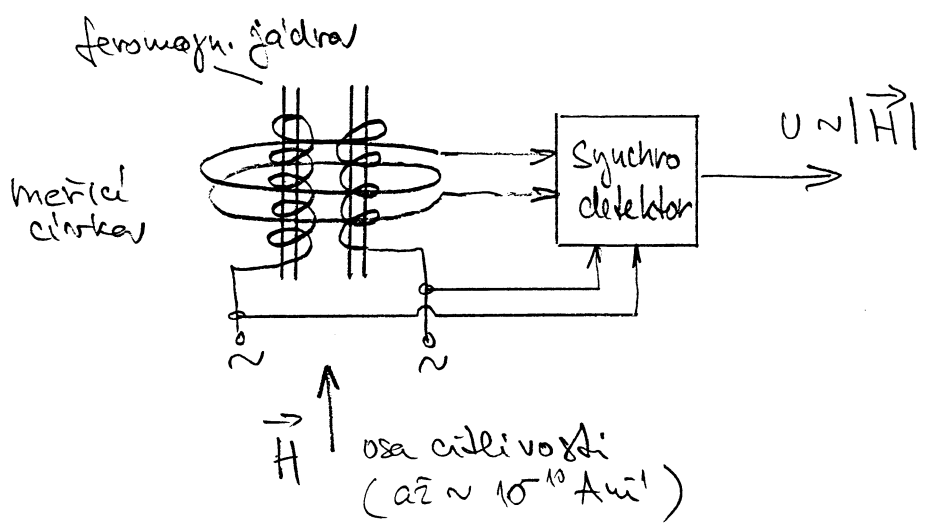


skutečné provedení s optickými vlákny



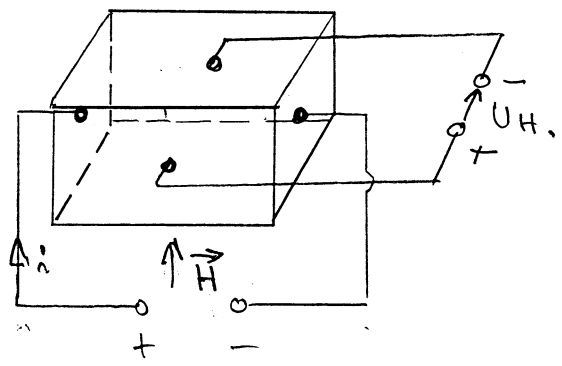
c) magetické kompasy

- o magnetometry s feromag. jádrem (využití velin. hysterézni křivky) - vysoká citlivost a stabilita



idealizovaná hysterézni křivka feromagnetika

- o polovodičové magnetometry - Hallovy sondy
 - nízká citlivost $\sim 10^3 \text{ A/m}^{-1}$ a stabilita
 - nízká cena a rozměry, linearita $\sim 1\%$



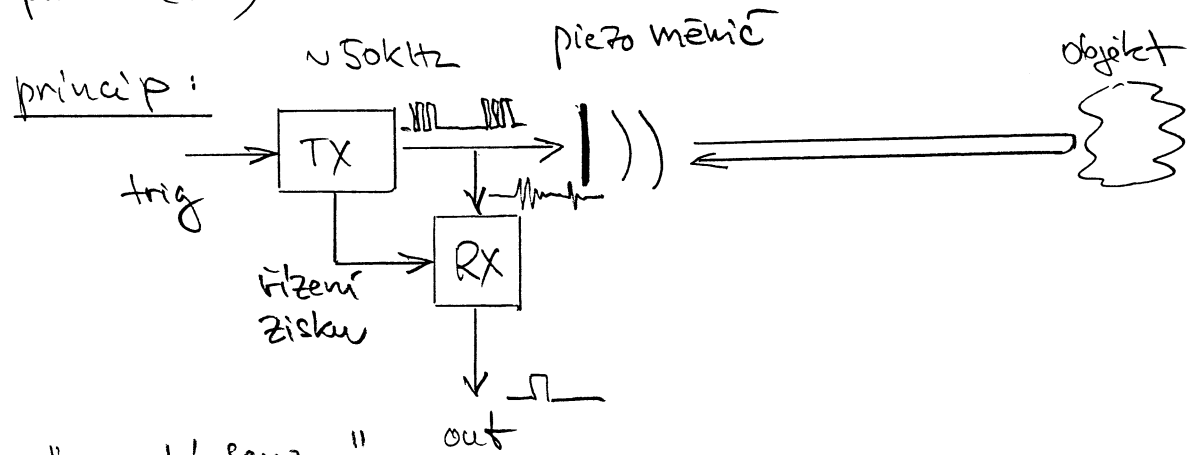
- polovodičový materiál
- obvykle 3D provedení

d) dálkoměrné senzory (přímé měření)

- 1) Souer
- 2) laserový dálkoměr (TOF)
- 3) opto rezistivní snímače
- 4) PMD senzor - kamera

Souer

o využívá záblesk na měření doby letu akustického pulsu (TOF)

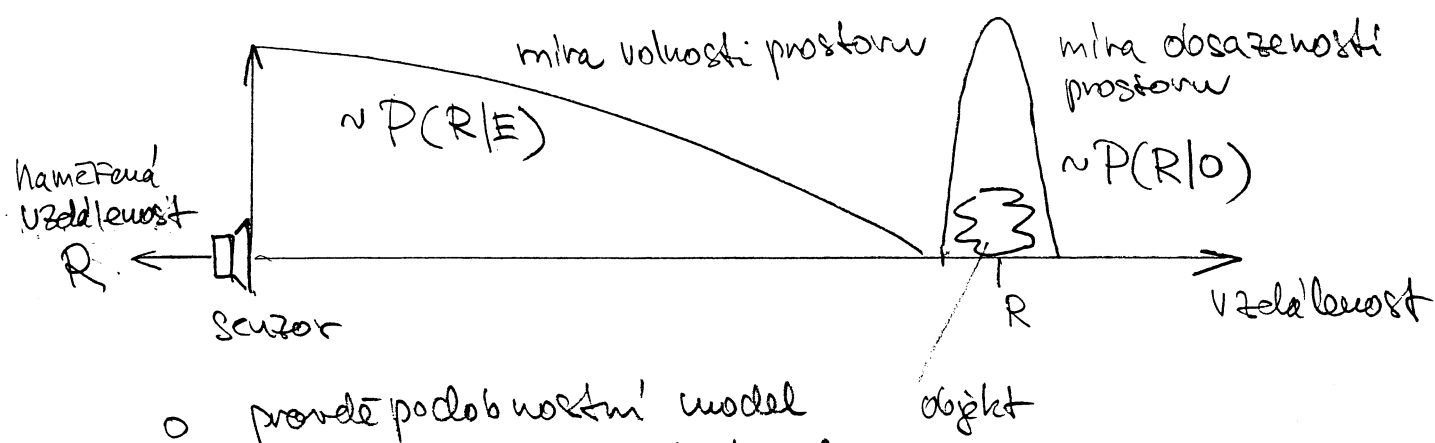


- o "pomalý senzor"
- o typický dosah $\sim 5m$ / přesnost $\pm 5cm$
- o vlastnosti (nízká cena)
 - závislost na tlaku / teplotě vzduchu
 - obtížné fokusování vyzařovacího diagramu ($20^\circ - 40^\circ / -3dB$)

⇓
vede ke vzniku falešných ech
⇓
problém interpretace dat
(je nezbytné statistické zpracování měření)

- 30-50% měření mohou být systematické chyby

- o model chování sonarového senzoru - pravděpodobnostní
přístup - podmíněné pravděpodobnosti



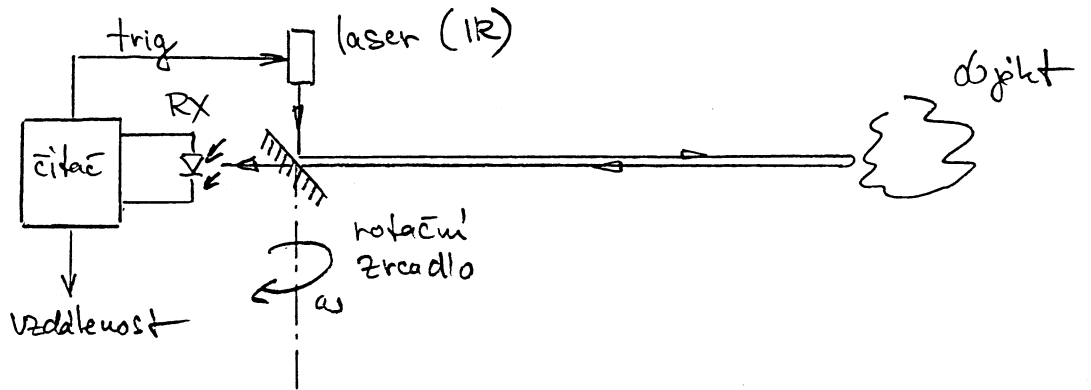
- o pravděpodobnostní model umožňuje využít statistických postupů říze dat (a eliminace chyb měření)
- ⇒ "míra obsazenosti"

Laserový dálkoměr (TOF)

- o obdobyj' princip jako sonar - měření doby letu IR laserového pulsu
- o nemá nedostatky sonaru - velmi nízký měřicí paprsek, jediným problémem zůstává spekulativní odraz (zrcadlo).
- o jednotlivá měření vzdálenosti se obvykle průměrují již v HW senzoru (může způsobit uočehávání chování s'drž na hranách objektů - přechodech v klanbce)

o většinou provedení 2D, existují i 3D
laserové dálkoměry (LIDAR)

princip: (2D)



o vlastnosti vzdálených systémů 1D/2D

dosah 5-100m

presnost ~ 30mm

frekvence ~ 1-100Hz
pulzů

rozlišení ~ 0.5-5°
názimtu

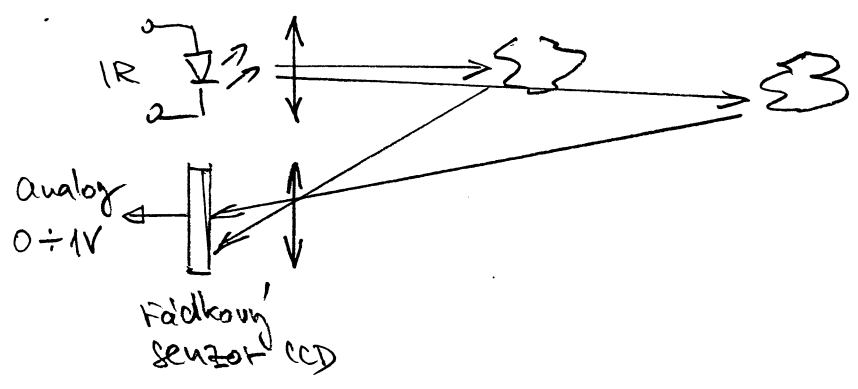
pozn. - nepřesnosti může být sníženy v jedné
názimkové rovině

- cena

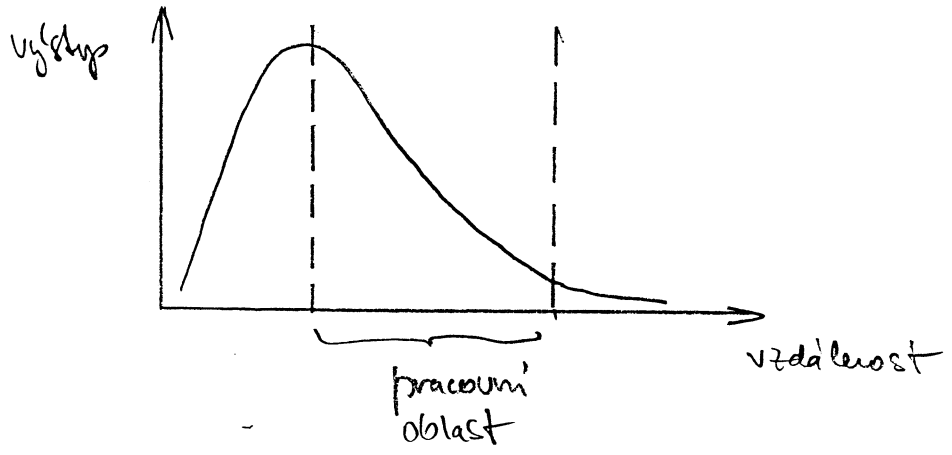
Optoezistivní čidla

- o jednoduché (tenze) čidlo pro měření vzdálenosti v blízkém okolí robotu (do cca 1.5m)
- o pracuje v oblasti IR, průměrně úzký paprsek $\sim 10^\circ$

princip:



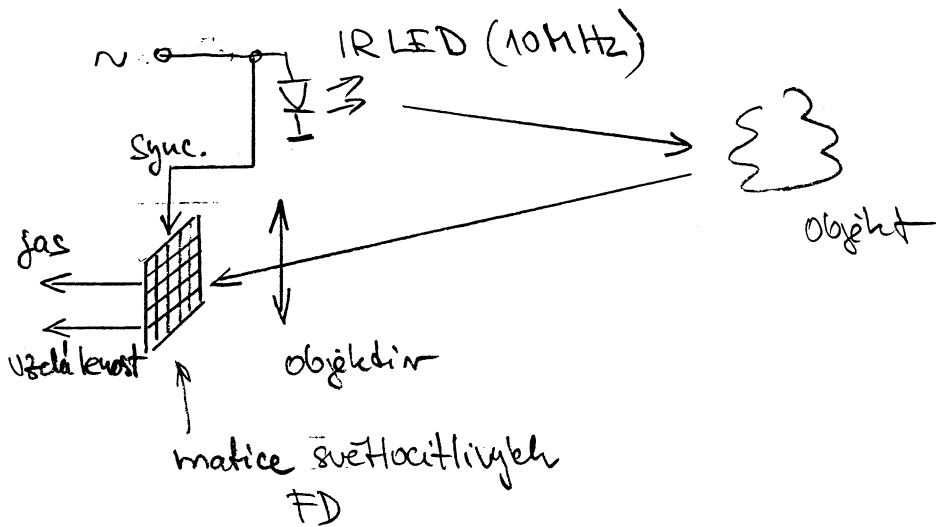
o závislost výstupního napětí na vzdálenosti:



PMD kamera (Photo Mixer Device)

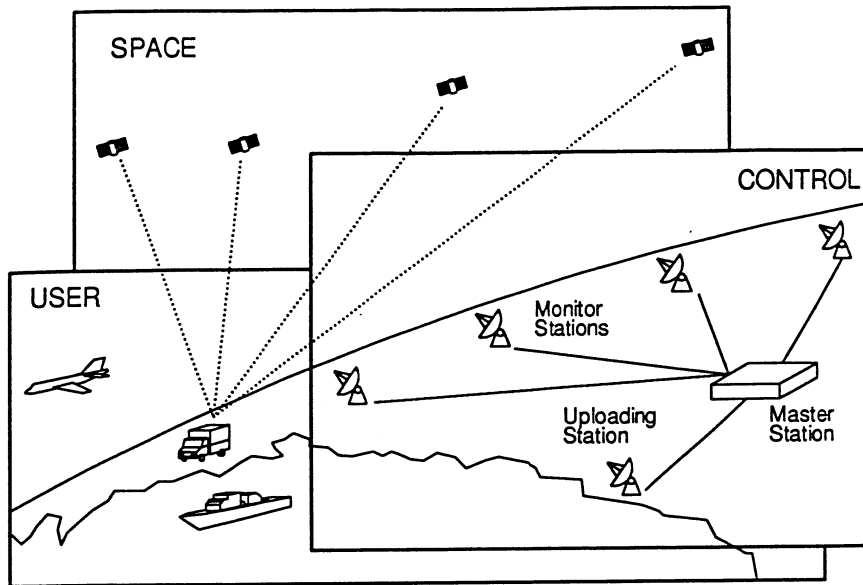
- o senzor pro přímé měření vzdálenosti ve 2D matici

princip:



- o vlastnosti - poskytuje jak hloubkovou mapu tak jasovou informaci v IR oblasti
- o v současnosti dosahované rozlišení ~ 256x256
- o dosah cca 5-6 m
- o značná úroveň šumu ve hloubkovém oboru
- o frekvence snímání 20-30 Hz (vychleď)

GPS lokalizační systém



- o založeno na měření vzdálenosti od navigačních (37) satelitů (časově synchronní značky)
 - o podmínka viditelnosti (obvykle 6)
 - k určení polohy stačí 3
 - k určení polohy a výšky stačí 4 (ostatní slouží k optimalizaci (zpracování) řešení)
- o hlavní zdroj chyb GPS lokalizace je troposférický vlnitý (různé rychlosti šíření signálů)
 - ▷ základní přesnost $\sim 1\text{m} - 10\text{m}$
 - ▷ DGPS - diferenciální korekce v dané oblasti - informace od korekčního přijímače umístěného na známé poloze

▷ šíření korekčního signálu DGPS prostřednictvím rádiová (LW), Internetu (GPRS) ap.

▷ systém přesnosti < 1m

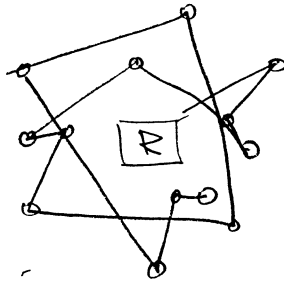
○ ostatní provozní módy RTK - Real Time Kinematics
popř. jejich kombinace s DGPS umožňuje přesnosti
až v řádu cm !

- nevýhodou je zdolanavý výpočet polohy

○ Z hlediska aplikace v robotice je omezením:

- nedostupnost signálu (budovy, hustý porost)

- značný statický drift senzorů na místě v
case



- nemožnost určení orientace (směru)
(že určit jen při vykonání pohybu)