

Praktická robotika (X33PAR)

Přednášející: Ing. Libor Přeučil, CSc., tel. 22435-7290, preucil@labe.felk.cvut.cz

Cvičení: RNDr. Miroslav Kulich, Ph.D., tel. 22435-7284, kulich@labe.felk.cvut.cz

Organizace předmětu:

rozsah 1+2h,

6(7) přednášek à 2h (1.-6. týden)

- cílem přednášek je zprostředkovat úzce specializovanou metodiku pro řešení vybrané úlohy z inteligentní mobilní robotiky

13 laboratorních cvičení, viz. [http://descartes/par](http://descartes.par)

- řešení úloh v týmech, postup „per-partes“
- práce v simulovaném prostředí následovaná přenosem na reálný robot
- závěrečná demonstrace výsledků/soutěž

Doporučená literatura: texty přednášek, vybrané referenční publikace (články)

Co je to robot?

Zařízení schopné fyzického působení na okolní prostředí na základě:

- Příkazů operátora (teleoperovaný manipulátor)
- Předem stanovených povelů/programu (programovaný manipulátor)
- Adaptivity, na základě zpracování sensorické informace z prostředí a daného cíle (autonomní robot)
- Kognice, se schopností si cíle činnosti nalézat samostatně (a se zahrnutím úředchozího) za účelem realizace určité strategie (kognitivní robot)

Základní funkcionality robotu:

- Snímání prostředí (sensing)
- Vnímání (perception), zpracování sensorické informace do vnitřní reprezentace (od signálového zpracování sensorických dat, až po interpretaci dat do formy znalosti/vnitřního modelu prostředí)
- Plánování a uvažování o činnosti (planning and reasoning) na úrovni akcí nebo podcílů využitím získané znalosti o prostředí za účelem splnění daného cíle nebo strategie
- Fyzická realizace plánů (action)

Klasifikace robotů dle určení

Obecný robot – předpokládá zachování obecné manipulační schopnosti v prostředí, tj. disponuje akčním systémem pro pohyb v prostředí a manipulaci s objekty

- Humanoidní roboty
- Mobilní manipulátory

Mobilní robot – funkcionality mobility je zachována jako generická vlastnost, manipulační schopnosti jsou zpravidla potlačeny

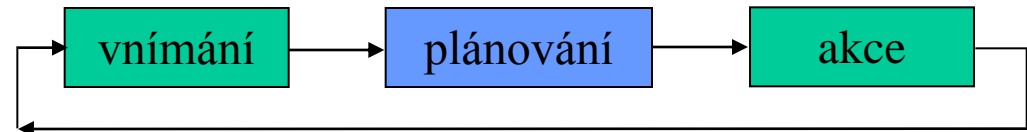
- **UGV (pozemní mobilní, kolové)**, pásové, atd. systémy)
- UAV (létající systémy, letadla, vrtulníky, atd.)
- AUV (podvodní autonomní systémy, ponorky a jiná plavidla)

Manipulátor – pohyblivost v prostředí omezena, plně zachována schopnost manipulace s objekty

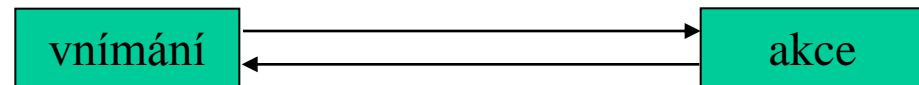
- Montážní/výrobní linky
- Teleoperované systémy (nebezpečná a nedostupná prostředí, aj.)

Základní architektury robotu z hlediska zpracování informace

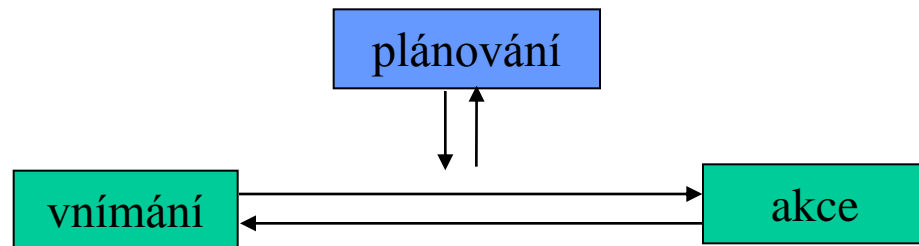
Hierarchická/deliberativní
 Sekvenční zpracování ve smyčce
 Vyžaduje vnitřní model prostředí/znalosti
 Umožňuje učení
 Složitější implementace



Reaktivní
 Bez modelu prostředí
 Aplikace souboru heuristik
 Obtížné učení
 Jednoduchá implementace

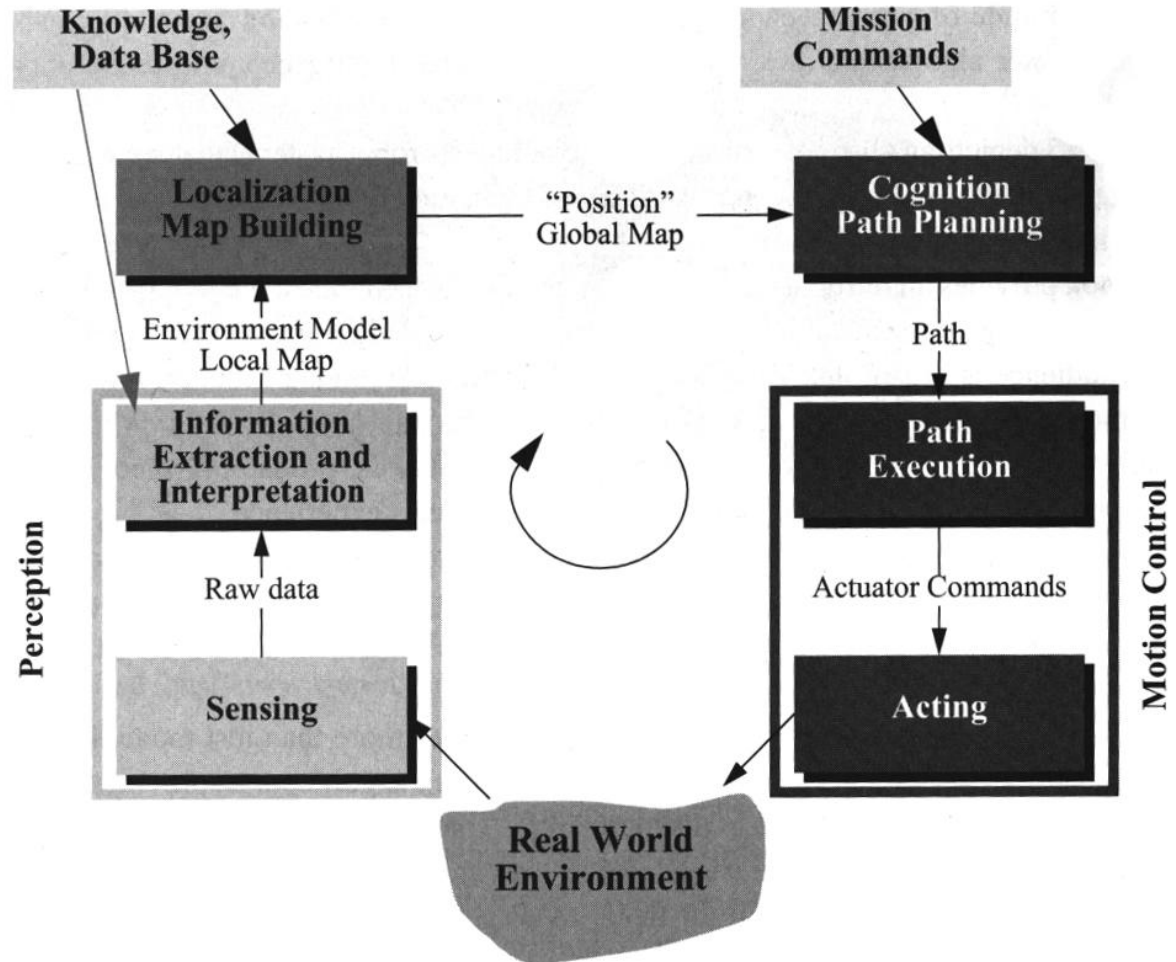


Hybridní
 Kombinace výhod předchozího
 Obtížná volba způsobu zpracování
 příchozí informace

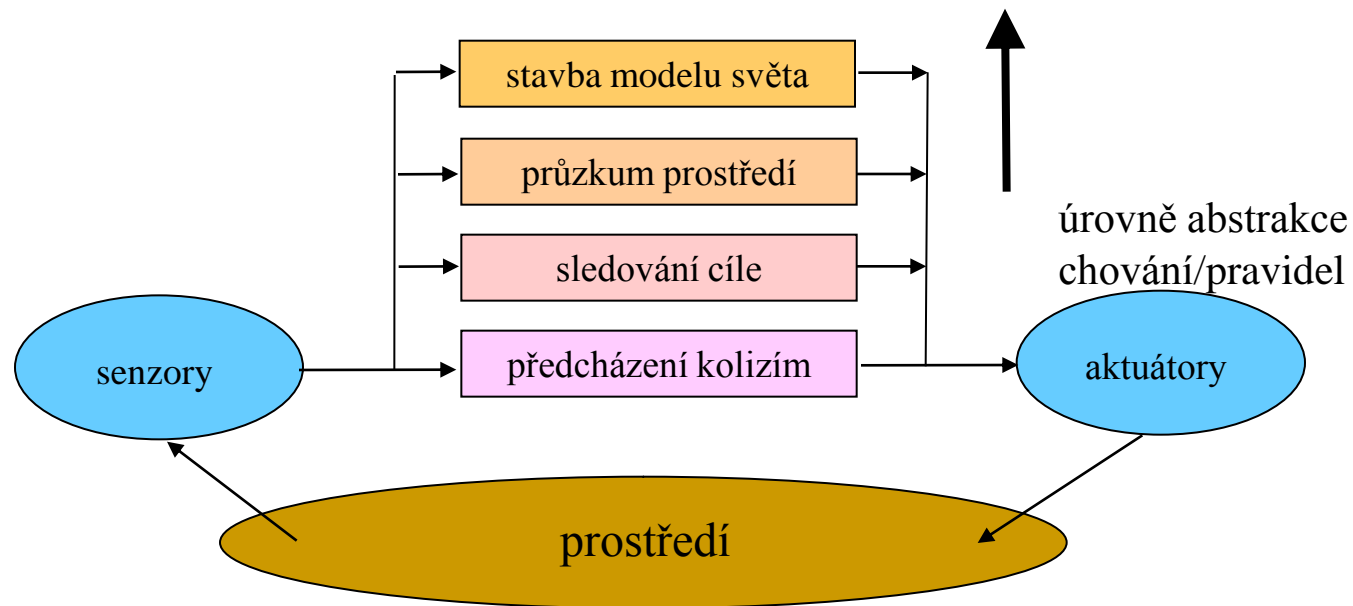


Deliberativní architektura mobilního robotu (implementace):

- Efektivní při schopnosti interpretovat senzorká data do modelu/znalosti
- Výpočetně náročné
- Učení doplňováním modelu prostředí / báze znalostí
- Chybí mechanismus detekce rozpoznání „chybového“ chování



Reaktivní architektura (implementace)

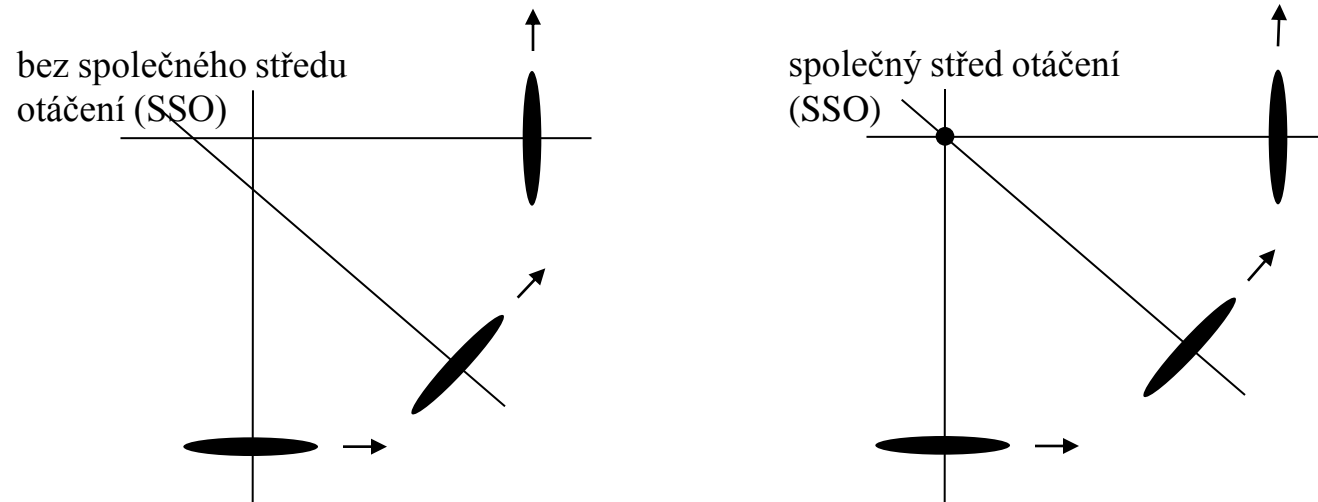


- Bez nutnosti realizace rozpoznávání (výpočetně náročné)
- Jednoduchá aplikace hierarchických a/nebo paralelních pravidel
- Snadno dosažitelná funkcionalita, bez garantované opakovatelnosti chování
- Učení možné pouze odvozováním a doplňováním reaktivních pravidel

Základy kinematiky kolového podvozku

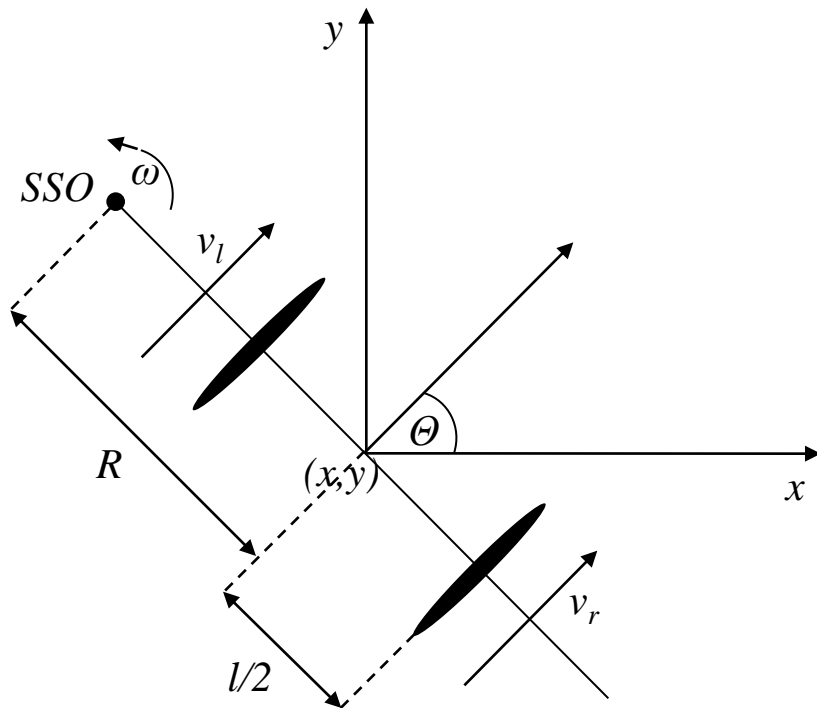
- Smýkavý vs. otáčivý pohyb kolových podvozků

Pro otáčivý pohyb je třeba mít společný střed otáčení (zakřivení) trajektorie pro všechna kola



- Platí pouze pro ideálně tenká kola s šířkou běhounu $\rightarrow 0$
- Situace s výskytem smýkání/tření jsou obtížně analyticky postižitelné

Diferenciální pohon



souřadnice středu
otáčení

$$SSO = [x - R \sin \Theta, \quad y + R \cos \Theta]$$

dopředná rychlost
jednotlivých kol

$$v_r = \omega \left(R + \frac{l}{2} \right)$$

$$v_l = \omega \left(R - \frac{l}{2} \right)$$

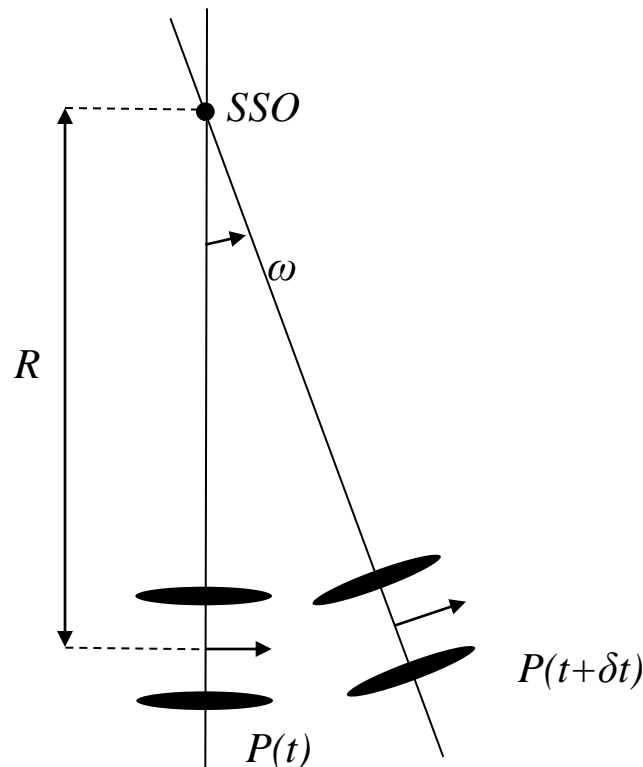
poloměr zatáčení

$$R = \frac{l(v_r + v_l)}{2(v_r - v_l)}$$

úhlová rychlost
zatáčení

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{l}$$

Kinematická rovnice pro obecný pohon



$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \Theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega\delta t) & -\sin(\omega\delta t) & 0 \\ \sin(\omega\delta t) & \cos(\omega\delta t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x - SSO_x \\ y - SSO_y \\ \Theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} SSO_x \\ SSO_y \\ \omega\delta t \end{bmatrix}$$

$\omega\delta t \approx \delta\Theta$ diferenciál úhlu otočení

z čehož integrací:

$$x(t) = \int_0^t v(t') \cos \Theta(t') dt'$$

$$y(t) = \int_0^t v(t') \sin \Theta(t') dt'$$

$$\Theta(t) = \int_0^t \omega(t') dt'$$

po dosazení zákl. pohybové

rce pro diferenciální pohon:

$$x(t) = \frac{1}{2} \int_0^t (v_r(t') + v_l(t')) \cos \Theta(t) dt'$$

$$y(t) = \frac{1}{2} \int_0^t (v_r(t') + v_l(t')) \sin \Theta(t) dt'$$

$$\Theta(t) = \frac{1}{l} \int_0^t v_r(t') + v_l(t') dt'$$

Kategorie pohybu mobilního robotu I

Generická úloha: přesun z počátečního do koncového stavu, stav q je popsán: x, y, Θ , popř. v_x, v_y, ω a jejich derivacemi (zobecněné souřadnice)

3 typy úloh:

1. Plánování cesty

Globální metoda

Určuje posloupnost zlomových bodů (waypoints) pro cestu od počátečního do cílového stavu
Respektuje překážky v prostředí a další omezení

2. Generování trajektorie

Je lokální metoda pro plánování trasy bez ohledu na překážky podél zlomových bodů trajektorie
Zohledňuje kinematická omezení robotu, časová omezení, rychlost, minimalizaci spotř. energie a jiné konstrukce účelové funkce pro generování trajektorie
Výstupem je časová funkce stavů robotu $q = q(t)$ (zobecněná souřadnice robotu)

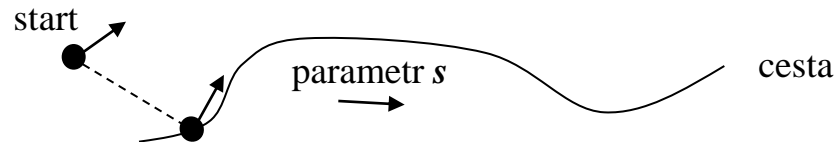
Kategorie pohybu mobilního robotu II

3. Řízení – nejnižší úroveň realizace trajektorie užitím ZPV, reguluje stav robotu a je trojího druhu:

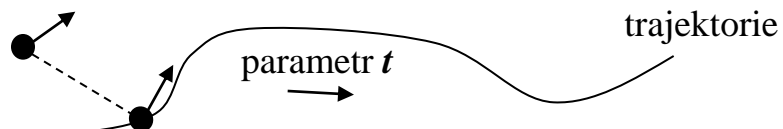
- Stabilizace v bodě – dosažení a udržení dané cílové polohy bez ohledu na trajektorii



- Sledování cesty – dosažení žádané trajektorie a navigace podél ní, bez časových podmínek, pohyb po cestě jako funkce parametru s



- Sledování trajektorie - dosažení žádané trajektorie, která je fcí času a navigace podél ní v daném čase

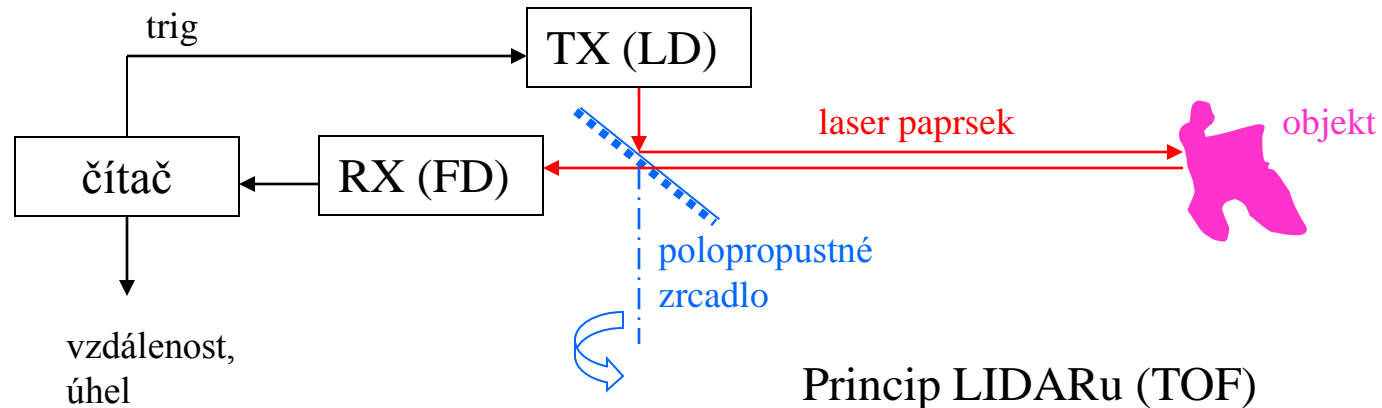


Kategorie pohybu mobilního robotu

Generování trajektorie

Použité senzory I

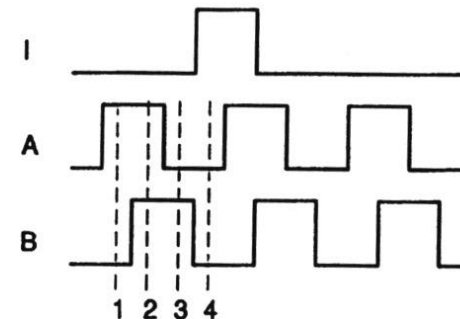
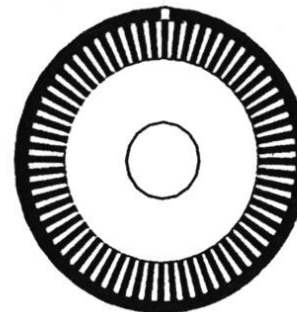
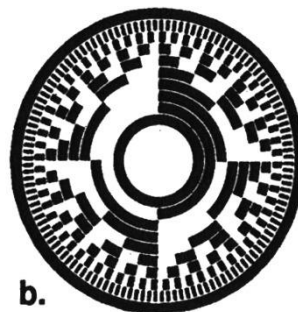
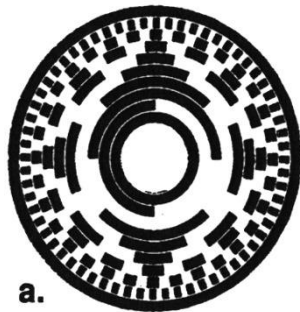
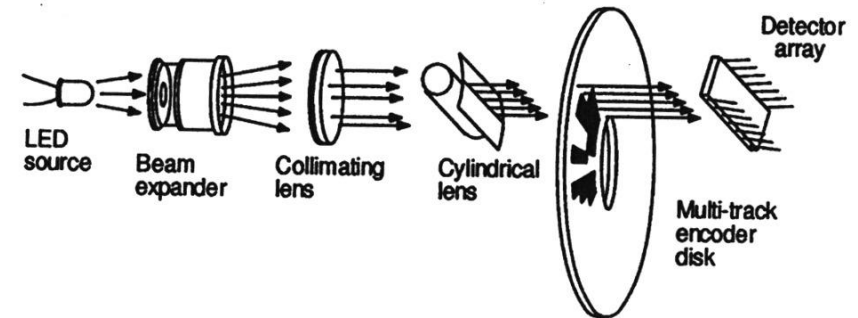
- LIDAR
 - 2D měření vzdálenosti laserovým paprskem
 - Vysoká přesnost měření (v řádech až \pm mm), dosah v řádu x10 m
 - Jednoznačné směřování měřicího svazku
 - Měření v rovině - problematické udržení horizontu senzoru („pohled do podlahy nebo stropu“)
 - Vnitřní signálové zpracování (průměrování několika měření, ztráta signálu, atd.)



Použité senzory II

Odometrie (Dead Reckoning)

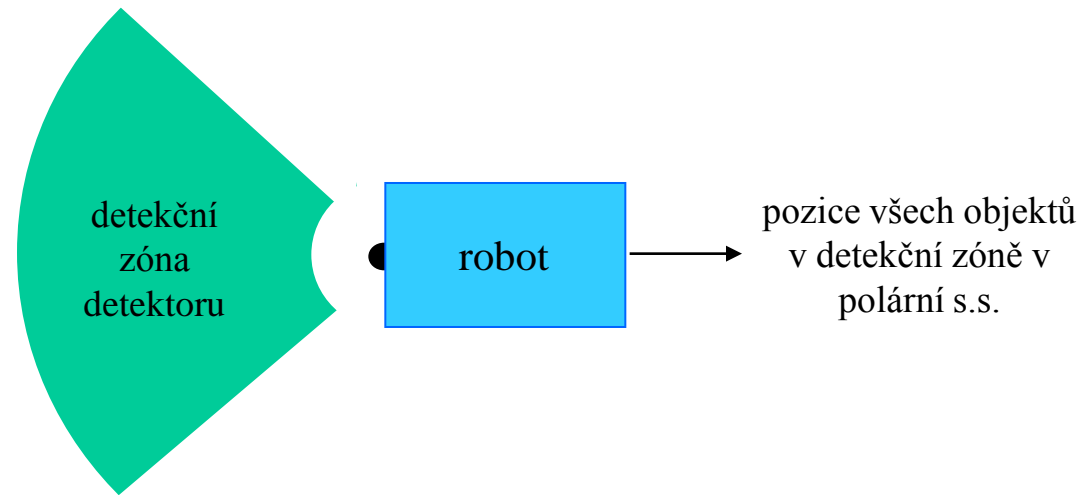
- Měření ujeté vzdálenosti a změny úhlu z otáček kol robotu (jednotlivé pohony)
- Jednoduché provedení (IRC čidla, počítání pulsů krok. motoru)
- Přijatelná přesnost, nebezpečí prokluzu kola při akceleraci, nárazu, znečištění.
- Ideální pro tvrdé povrchy a velmi tenká kola
- Přesnost v řádu %



Použité senzory III

Detektor zájmových objektů (min) – simulovaný senzor

- Dodává seznam poloh (v radiálních souřadnicích vůči robotu) detekovaných objektů ve vymezené detekční oblasti.
- Objekty vzájemně neodlišuje.



Zadání úlohy: (viz. [http://descartes/par](http://descartes.par))

Mobilní robot je umístěn do umělého prostředí (bludiště) do po čáteční pozice. Struktura prostředí je mu předem neznámá. Úkolem je nalézt (zmapovat) pozice daných objektů - min, tj. výstupem je seznam pozic nalezených objektů. V jednom okamžiku se v bludišti nacházejí 2 nezávisle pracující roboty.

Senzorické vybavení robotu:

- odometrie (nejprve bezchybná, následně se zahrnutím náhodných chyb)
- 2D laserový dálkoměr
- detektor hledaných objektů (min)

Aktuátory:

- levý, pravý motor (úhlová a dopředná rychlost)

Hodnocení cílového chování robotu:

- počet alokovaných objektů ve stanoveném časovém intervalu
- penalizace za najetí na hledaný objekt
- penalizace za kolize (s objekty prostředí a/nebo druhým robotem)
- penalizace za vícenásobné hlášení objektu (miny)

Jak dosáhnout očekávaného výsledku?

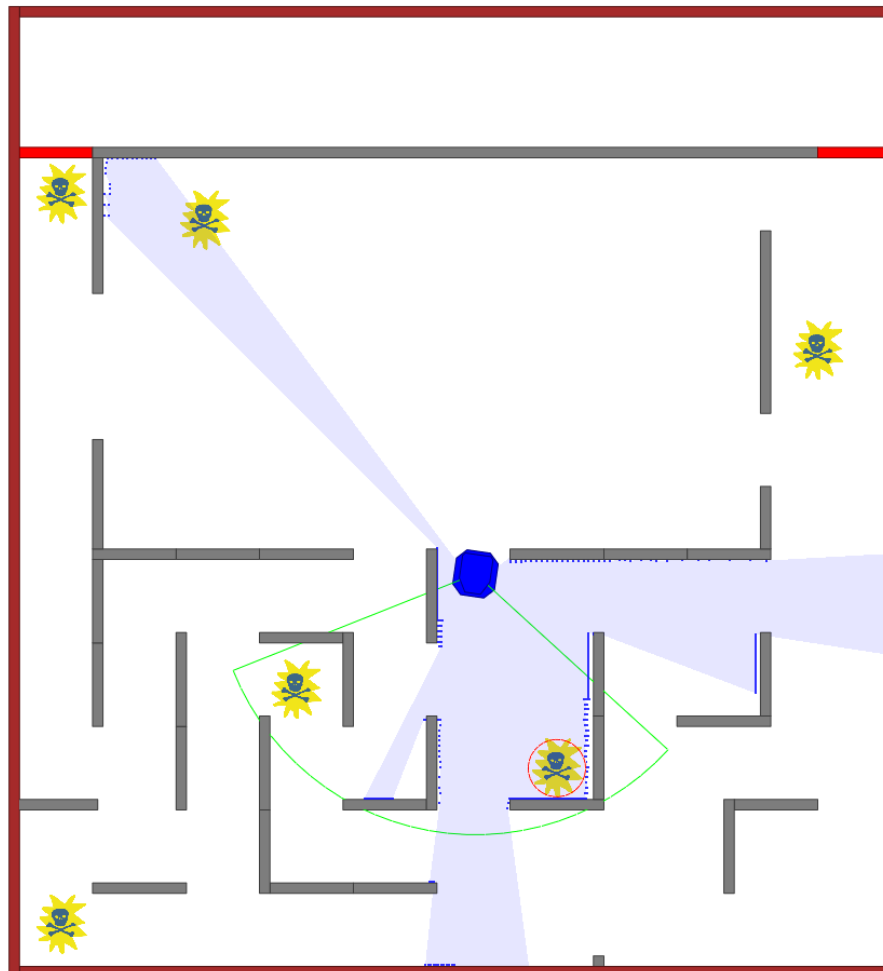
... řešením jednotlivých podúloh:

- lokalizace robotu, zjišťování okamžité polohy vůči prostředí
- vytváření jednoduché mapy (modelu prostředí)
- generování plánů činnosti (explorace) prostředí s využitím znalosti z mapy k nalezení min (systematické, náhodné)
- realizace plánu – řízení trajektorie robotu
- řešení robustnosti vůči náhodným jevům (nejistota v určení odometrie, neočekávaný výskyt druhého robotu, atd.)

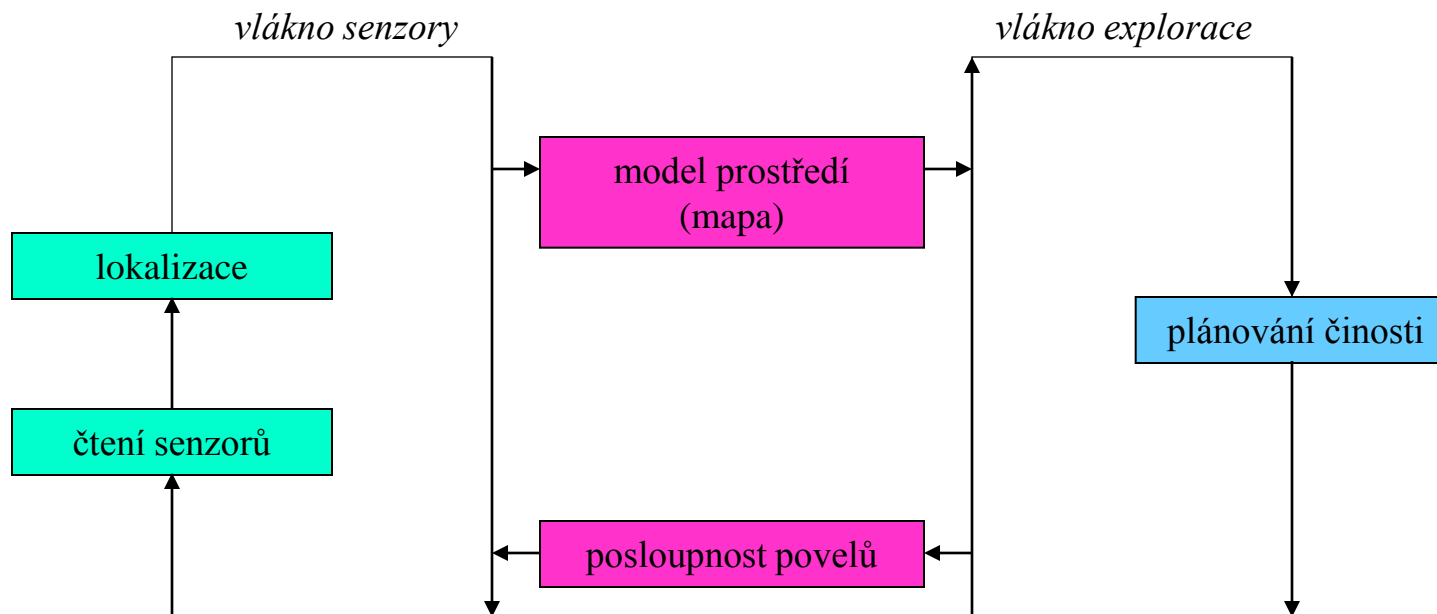
... řešit nebudeme:

- řízení robotu na úrovni pohonů
- management HW robotu

Příklad situace dle zadání



Procesní diagram činnosti robotu:



Příklad chování, možné řešení úlohy

