

Универзитет у Београду – Машински факултет  
 Мастер академске студије – 1. година  
 Шк. год. 2017/2018.  
 Модул: Производно машинство  
 Предмет: Индустијски роботи



## Мобилни роботи – спецификације и врсте

проф. др Зоран Миљковић

### Индустијски мобилни роботи

*Класификација с обзиром на број додатних степени слободе кретања:*

- Један степен слободе;
- Два степена слободе;
- Три степена слободе;

*Класификација с обзиром на начине остваривања кретања:*

- Кретање помоћу ногу (тзв. *Legged robots*) – хуманоидни, инсект роботи, ...
- Кретање котрљањем помоћу точкова, гусеница, ...
- Кретање по шинама (AGV);

*Класификација с обзиром на окружење у коме се крећу:*

- Роботи који се крећу по подлози (енгл. *Unmanned Ground Vehicles*);
- Роботи који егзистирају у ваздуху - (енгл. *Unmanned Aerial Vehicles* или беспилотне летелице);
- Роботи у воденом окружењу (енгл. *Autonomous Underwater Vehicles*);

## Индустријски мобилни роботи

Роботизовани унутрашњи транспорт: брзо, тачно, економично и ефикасно кретање материјала на начин који обезбеђује максималну безбедност материјала (делова) и људи у окружењу



3/20

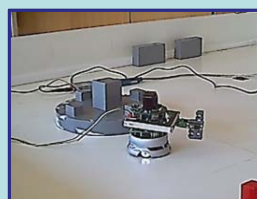


## Индустријски мобилни роботи

Лабораторијски модел технолошког окружења



Нехолономни мобилни робот *Khepera II*, компатибилна камера *KheCMUCam* и хватач *KheGrip*



4/20

## Унутрашњи транспорт у технолошким системима

- Унутрашњи транспорт материјала дефинисан је као „кретање, складиштење, заштита и управљање материјалом у току процеса производње“.
- Трошкови управљања материјалом су реда величине 20-25% укупне цене рада радника што потврђује значај проблема унутрашњег транспорта.
- У том смислу посебан акценат је дат *унутрашњем транспорту материјала* и примени индустријских мобилних робота у ове сврхе.

1. Миљковић З., Бабић, Б., Нешић Н., Управљање технолошким информацијама у предузећу „ВУСК“ – Београд, Београд 2007.

2. Миљковић З., Бабић, Б., Бојовић Б., Вуковић Н., Снимање рада и одговарајућих технолошких времена линија за производњу лименки у компанији АД ФМП – Београд, Београд 2008.

5/20

## Унутрашњи транспорт у технолошким системима

### Шта се транспортује?

- Сировине
  - Полуфабрикати
  - Материјали
  - Готови делови

### Тренутно стање:

- Виљушкар
  - Ручни виљушкар
  - Линијски транспортер

- Аутоматски вођена робоколица (АВР)



Интелигентни индустријски мобилни роботи (ИМР)

6/20

## Еволуција роботике



7/20

## „Узми и понеси“

- **„Узми и понеси“** технолошки задатак подразумева следеће способности мобилног робота:

1. Мобилни робот у сваком тренутку зна свој положај и положај објеката у радном окружењу у односу на произвољно изабрани спољашњи референтни координатни систем;
2. Аквизицијом информација од сензора, процесирањем и интерпретацијом, мобилни робот може да детектује и препозна карактеристичне објекте;
3. У сваком тренутку, мобилни робот може да самостално дефинише путању кретања и спроведе планирано кретање у складу са задатим технолошким задатком;
4. Итеративно понављање поменутих способности се подразумева.

8/20

## Интелигентни мобилни роботи - основе

• У циљу аутономног кретања (без директног управљања од стране људског оператера) и испољавања интелигентног понашања ИМП „**морају**”,

у сваком тренутку, да „**знају**” одговоре на следећа питања:

Где сам?

Где сам био?

Где идем? Где ми је циљ?

Како да дођем до циља?



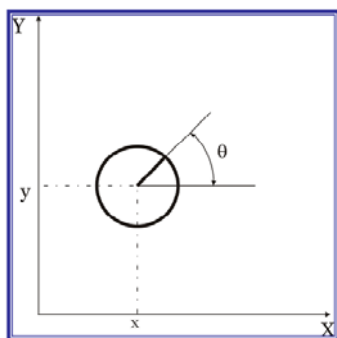
- **Проблем #1:** Локализација – одређивање положаја мобилног робота (позиција и оријентација) у радном окружењу;
- **Проблем #2:** Изградња мапе радног окружења;
- **Проблем #3 (Проблем #1 + Проблем #2):** Симултана локализација и изградња мапе окружења;
- **Проблем #4:** Генерисање плана + **Проблем #3;**
- **Проблем #5:** **Проблем #4** + Управљачка архитектура.

9/20

## Модел кретања

- Вектор стања  $x_t$

$$x_t = (x, y, z, \theta, \psi, \varphi)^T$$



•  $x$ ,  $y$  и  $z$  – компоненте вектора које дефинишу позицију мобилног робота, а  $\theta$ ,  $\psi$  и  $\varphi$  су углови који одређују оријентацију мобилног робота;

• Вектор стања се може и проширити са брзинама и убрзањима...

• За раванско кретање...

$$x_t = \{x, y, \theta\}^T$$

... три степена слободе.

10/20

## Модели кретања

- *Модел кретања на основу брзина (velocity based motion model)*
  - у овом моделу транслаторна и угаона брзина кретања мобилног робота представљају *управљања  $u(t)$*  која одређују промену позиције и оријентације током експлоатације.
- *Модел кретања на основу пређеног пута (odometry)*
  - у овом моделу *управљање  $u(t)$*  је дефинисано пређеним путем тачкова мобилног робота током тачно дефинисаног временског интервала.

11/20

## Модел кретања на основу пређеног пута

- Пређени пут се мери помоћу енкодера од неког положаја у коме је мобилни робот био у тренутку  $t-1$  до неког положаја у тренутку  $t$ ;
- *Differential Drive Mobile Robots*, два независна погонска тачка;
- Управљањем смером обртања тачкова контролише се скретање мобилног робота;
- На „осовинама“ тачкова се налазе енкодери који мере углове ротације (обртање тачкова).

12/20

## Модел кретања на основу пређеног пута

$$x' = \{x \ y \ \theta\}^T$$

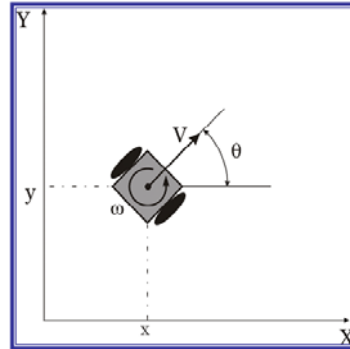
$$\Delta x = \Delta s \cos(\theta + \Delta\theta/2)$$

$$\Delta y = \Delta s \sin(\theta + \Delta\theta/2)$$

$$\Delta\theta = \frac{\Delta s_d - \Delta s_l}{b} \quad \Delta s = \frac{\Delta s_d + \Delta s_l}{2}$$

$(\Delta x, \Delta y, \Delta\theta)$  - величине које одређују прираштај;

$(\Delta s_d, \Delta s_l)$   
b - пређени пут десног и левог погонског  
точка респективно;  
- растојање између точкова.



13/20

## Модел кретања на основу пређеног пута

$$x' = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta s \cos(\theta + \Delta\theta/2) \\ \Delta s \sin(\theta + \Delta\theta/2) \\ \Delta\theta \end{bmatrix}$$

... односно...

$$x' = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\Delta s_d + \Delta s_l}{2} \cos\left(\theta + \frac{\Delta s_d - \Delta s_l}{2b}\right) \\ \frac{\Delta s_d + \Delta s_l}{2} \sin\left(\theta + \frac{\Delta s_d - \Delta s_l}{2b}\right) \\ \frac{\Delta s_d - \Delta s_l}{2b} \end{bmatrix} \Rightarrow x' = f(x, y, \theta, \Delta s_d, \Delta s_l)$$

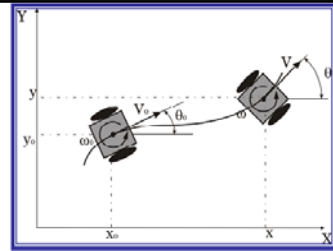
14/20

### „Брзински“ модел кретања мобилног робота

- Вектор управљања:  $u(t) = \{v_t \ \omega_t\}^T$
- Транслаторна брзина кретања центра маса и угаона брзина мобилног робота;
- Кинематички модел кретања у континуалном облику:

$$\begin{cases} x(t) \\ y(t) \\ \theta(t) \end{cases} = \begin{bmatrix} x_0 + \frac{1}{2} \int_0^t (R_d \omega_d + R_l \omega_l) \cos(\theta(t)) dt \\ y_0 + \frac{1}{2} \int_0^t (R_d \omega_d + R_l \omega_l) \sin(\theta(t)) dt \\ \theta_0 + \frac{1}{d} \int_0^t (R_d \omega_d - R_l \omega_l) dt \end{bmatrix}$$

15/20



$x_0$  - x координата тежишта мобилног робота у тренутку  $t=0$

$y_0$  - y координата тежишта мобилног робота у тренутку  $t=0$

$\theta_0$  - Угао ротације мобилног робота у тренутку  $t=0$

$R_l$  - Полупречник левог точка

$R_d$  - Полупречник десног точка

$\omega_d$  - Угаона брзина десног точка

$\omega_l$  - Угаона брзина левог точка

$b$  - Растојање између точкава

### „Брзински“ модел кретања мобилног робота

- Кинематички модел кретања у дискретном облику:

$$\begin{cases} x(k+1) \\ y(k+1) \\ \theta(k+1) \end{cases} = \begin{bmatrix} x(k) + v(k)\Delta t \cos(\theta(k) + \omega(k)\Delta t) \\ y(k) + v(k)\Delta t \sin(\theta(k) + \omega(k)\Delta t) \\ \theta(k) + \omega(k)\Delta t \end{bmatrix}$$

$x(k)$  - x координата тежишта мобилног робота у тренутку  $k$

$y(k)$  - y координата тежишта мобилног робота у тренутку  $k$

$\theta(k)$  - Угао ротације мобилног робота у тренутку  $k$

$R_l$  - Полупречник левог точка

16/20

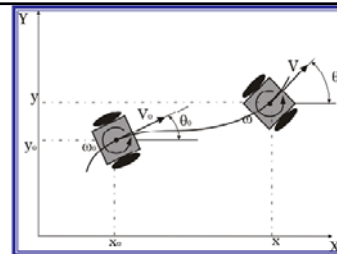
$R_d$  - Полупречник десног точка

$\omega_d(k)$  - Угаона брзина десног точка

$\omega_l(k)$  - Угаона брзина левог точка

$d$  - Растојање између точкава

$$\omega = \frac{(R_d \omega_d - R_l \omega_l)}{d}$$





## Модел перцепције

- Сензори представљају подсистеме помоћу којих се врши пријем информације из окружења;
- Након интерпретације ових информација мобилни робот „доноси одлуку” о следећој акцији, покрету или путањи;
- Концепти као што су *интелигентан*, а посебно *аутономан*, почивају управо на тумачењу сензорских информација и накнадном генерисању одговарајућих акција.

17/20

## Основне поделе сензора

У односу на физичке величине које је потребно идентификовати сензори се деле на:

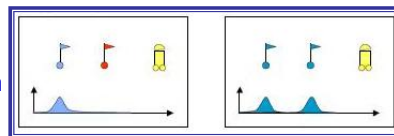
- *Унутрашње* – сензори који мере величине унутар самог мобилног робота (број обртаја електро мотора, енергетске резерве итд.)
- *Спољашње* – мере величине у односу на окружење у коме се мобилни робот креће (тактилни сензори итд.)

У односу на енергетски утицај окружења на систем и обрнуто:

- *Пасивне сензоре* – врше мерење енергетског утицаја окружења на систем мобилног робота (микрофони, камере)
- *Активне сензоре* – емитују енергију у окружење и врше мерење одговора окружења на енергетски стимуланс (нпр. ласерски и ултразвучни сензори)

18/20

### Модел перцепције базиран на идентификацији карактеристичних објеката



- Основна идеја:
  - Одредити *растојање* и *оријентацију* објекта у односу на робот;

$$f(z_i) = \{f_i^1, f_i^2, \dots, f_i^n\} = \left\{ \begin{bmatrix} r_i^1 \\ \phi_i^1 \\ s_i^1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} r_i^2 \\ \phi_i^2 \\ s_i^2 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} r_i^n \\ \phi_i^n \\ s_i^n \end{bmatrix} \right\}$$

- Робот може да идентификује класу карактеристичних објеката (*features*, енг.) помоћу величине која се назива *параметар идентификације*  $s^n$  (скаларна или векторска величина).

$$\begin{pmatrix} r_i^n \\ \phi_i^n \\ s_i^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{(m_{jx} - x)^2 + (m_{jy} - y)^2} \\ a \tan 2(m_{jy} - y, m_{jx} - x) - \theta \\ s_j \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathcal{E}_{\sigma_r^2} \\ \mathcal{E}_{\sigma_\phi^2} \\ \mathcal{E}_{\sigma_s^2} \end{pmatrix}$$

$$\text{atan2}(y, x) = \begin{cases} \text{atan}(y/x) & \text{if } x > 0 \\ \text{sign}(y) (\pi - \text{atan}(|y/x|)) & \text{if } x < 0 \\ 0 & \text{if } x = y = 0 \\ \text{sign}(y) \pi/2 & \text{if } x = 0, y \neq 0 \end{cases}$$

19/ 20

Величине  $\mathcal{E}_{\sigma_r^2}$ ,  $\mathcal{E}_{\sigma_\phi^2}$ ,  $\mathcal{E}_{\sigma_s^2}$  су моделиране нормалном расподелом са познатим варијансама и нултим очекивањем вредностима.

## Хвала на пажњи!

## Питања?