

# Prieskum neznámeho prostredia mobilným robotickým systémom a tvorba topologickej mapy prostredia (2)

Ladislav Jurišica, Roman Murár

## 3. Reprezentácia metrickou mapou

Metrické mapy reprezentujú objekty v prostredí z hľadiska ich geometrických závislostí. K najčastejšie využívaným patrí v tomto prípade mriežková mapa, ktorej jednotlivé bunky reprezentujú voľné alebo prekážkami obsadené miesta v priestore. Tvorba takýchto máp (tvorbe mapy sa venuje napr. [6]) sa uskutočňuje integráciou údajov zo senzorov o lokálnom okolí mobilného robota, pričom sa využívajú pravdepodobnostné modely senzorov. Každéj bunke je potom priradená pravdepodobnosť obsadenosti. Tvorba takejto globálnej mapy je však citlivá na chyby v lokalizácii mobilného robota.

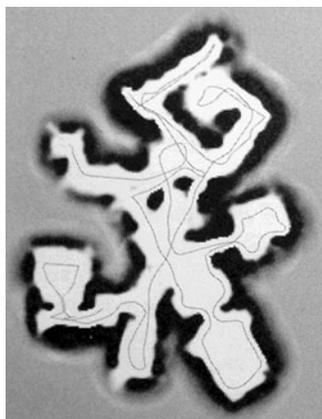
### 3.1 Lokalizácia

Ako už bolo spomenuté, lokalizácia pri použití metrickej mapy je procesom zosúladenia lokálneho súradnicového systému robota s globálnym súradnicovým systémom mapy. Lokalizácia je veľmi dôležitá v prístupoch využívajúcich mapu, a to ako pri tvorbe mapy, tak aj v prípade využívania už existujúcej mapy prostredia.

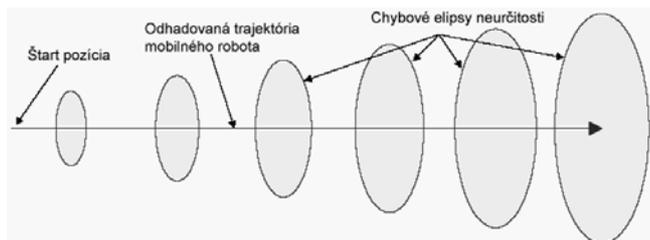
Napríklad v prípade využitia len odometrie, pri ktorej má chyba určenia polohy mobilného robota bez korekcie akumulatívny charakter, je metrická mapa prostredia nepoužiteľná (obr. 7). Lokalizáciu možno dosiahnuť korekciu v určení stavu mobilného robota, a tak zabezpečiť vytvorenie použiteľnej mapy prostredia – obr. 4 (porov. obr. 4 a 7).

Lokalizáciu možno rozdeliť do dvoch subproblémov: otázok sledovania pozície a globálnej lokalizácie.

Sledovanie pozície predstavuje problém odhadu stavu robota počas jeho pohybu. Tento typ lokalizácie sa často využíva v spojení s tvorbou mapy a prieskumom prostredia, čo predstavuje obtiažny problém. Takto je možné kompenzovať vplyv preklzovania kolies a driftu odometrie. Je však potrebné poznať počiatočnú polohu robota s určitou presnosťou (napríklad môže ísť o počiatok globálne-



Obr. 7 Mapa bez použitia lokalizácie zatažená akumulatívnou chybou odometrie [1]



Obr. 8. Zväčšujúce sa „chybové elipsy“ indikujúce narastajúcu neurčitnosť odometrie [3]

ho súradnicového systému), od ktorej sa odvíja určenie odhadu aktuálneho stavu robota. Pri strate pozície teda nie je možná náprava.

Globálna lokalizácia predstavuje problém určenia polohy robota v naučenej mape. Výhodou je, že v tomto prípade nie je potrebné poznať počiatočnú polohu, a tak tu nemôže dôjsť k strate informácie o polohe. Problém však nastáva v prípade prostredia s rovnakými špecifickými vlastnosťami, ako je napr. kancelárske prostredie, v ktorom z pohľadu robota má mnoho miest rovnaké špecifické vlastnosti.

Obidva tieto problémy teda predstavujú lokalizáciu pri vplyve neurčitosti, či už ide o lokalizáciu v už naučenej mape alebo o sledovanie pozície spojené s prieskumom a mapovaním. Vzhľadom na tieto neurčitosti v sensorovej informácii predstavuje problém lokalizácie vo všeobecnosti problém určenia pravdepodobnosti odhadnutého stavu tak, aby odhadnutá pravdepodobnosť čo najpresnejšie zodpovedala skutočnému stavu mobilného robota.

### 3.2 Odometria

Najčastejším spôsobom určovania stavu robota je využitie princípu odometrie – merania dráhy, ktorú mobilný robot prejde kolesom/kolesami. Na tento účel sa najčastejšie využívajú inkrementálne snímače umiestnené na kolese/kolesách. Výhodou je teda lacné a pomerne jednoduché použitie a dobrá presnosť na menších prejdých vzdialenostiach.

Princíp odometrie je založený na integrácii inkrementálnych informácií o prekonanej dráhe v čase, čo však spôsobuje akumuláciu chýb. Chyba pri určovaní polohy robota sa bez korekcie s prekonanou dráhou zväčšuje (obr. 8).

Pre dvojkolesovú diferenciálne riadenú platformu sú rovnice na určovanie stavu robota na základe inkrementálnych snímačov umiestnených na obidvoch kolesách nasledovné:

$$\Delta U_i = (\Delta U_R + \Delta U_L) / 2 \quad (1)$$

$$\Delta \theta_i = (\Delta U_R - \Delta U_L) / d \quad (2)$$

kde  $\Delta U_i$  je inkrementálny lineárny posuv stredového bodu mobilného robota,

$\Delta U_{R,L}$  sú inkrementálne dráhy ľavého a pravého kolesa,

$\Delta \theta_i$  je inkrementálna zmena orientácie,

$d$  – rozkol kolies.

Pre zmenu stavu mobilného robota potom platí:

$$\begin{aligned} \theta_i &= \theta_{i-1} + \Delta \theta_i \\ x_i &= x_{i-1} + \Delta U_i \cos(\theta_i) \\ y_i &= y_{i-1} + \Delta U_i \sin(\theta_i) \end{aligned} \quad (3)$$

kde  $\theta_i, x_i, y_i$  je relatívna orientácia a poloha stredového bodu mobilného robota v kroku  $i$ ,

$\theta_{i-1}, x_{i-1}, y_{i-1}$  je relatívna orientácia a poloha stredového bodu mobilného robota v kroku  $i-1$ .

Pri tejto transformácii údajov z inkrementálnych snímačov do stavu robota však dochádza k chybám, napr. k preklzávaniu kolies. Všetky chyby, ktoré pôsobia na presnosť určovania stavu robota na základe odometrickej informácie možno rozdeliť na systematické a nesystematické.

#### 4. Topologická reprezentácia prostredia

Ako už bolo spomenuté, topologické mapy predstavujú určitú formu logickej reprezentácie prostredia. Majú formu grafov, ktoré pozostávajú z uzlov a spojení medzi uzlami – z hrán. Uzly predstavujú miesta (napr. miestnosť, križovatku chodieb a pod.), ktoré môžu byť opísané taktiež topologicky alebo metricky. Samotný uzol môže teda predstavovať topologickú alebo metrickú mapu miesta. V prípade kombinácie metrických a topologických reprezentácií hovoríme o hybridných mapách prostredia (obr. 6).

##### 4.1 Tvorba mapy a lokalizácia

Pri tvorbe topologického grafu či už na základe vytvorenej metrickej mapy alebo iného prístupu, je potrebné predovšetkým identifikovať miesta v mape, ktoré budú reprezentované v grafe ako uzly a spojnice medzi uzlami.

Pri využití vopred vytvorenej globálnej metrickej mapy prostredia, možno napríklad vytvorením generalizovaného Voronoiovhovho diagramu, ktorý reprezentuje cestu robota vo voľnom priestore mapy a následnou identifikáciou kritických hraníc, vytvorí topologický graf priestoru. Je rovnako možné využiť aj iné prístupy tvorby topologickej mapy z globálnej metrickej mapy prostredia. Nevýhodou týchto prístupov je však to, že treba poznať globálnu mapu prostredia a tiež to, že pravdepodobne nebudú celkom vhodné do dynamicky sa meniacich prostredí.

Najdôležitejším problémom pri využívaní vytvoreného topologického grafu je lokalizácia, teda v tomto prípade identifikácia miesta v grafe, v ktorom sa mobilný robot nachádza. Ide najmä o identifikáciu uzlov na základe určitých vlastností alebo značiek. Pri samotnej tvorbe topologickej mapy teda nestačí vytvoriť graf. Navyše je potrebné, aby každému z uzlov boli priradené určité identifikačné vlastnosti a značky. Pri využití metrickej mapy miesta na identifikáciu uzla možno hovoriť o hybridnom type mapy. Graf s vlastnosťami a značkami predstavuje teda vhodnú reprezentáciu prostredia.

#### Záver

V súčasnosti je viacero metód a prístupov na vytvorenie máp prostredia. Metrické mapy prostredia je možné vytvoriť s veľmi dobrou presnosťou a vierohodnosťou. Dôraz je však kladený predovšetkým na prístupy blízke reprezentácii prostredia človekom, teda logické grafové reprezentácie aj z dôvodu ich univerzálnosti a relatívne nízkych záznamových nárokov pri využití v rôznych komplexných prostrediach.

Reprezentácie prostredia – mapy, ako napovedá ich názov, sú určené na zabezpečenie stavu robota v prostredí, a tiež na umožnenie plánovania a optimalizácie rôznych úloh v tomto prostredí. Mapa je teda základnou a nevyhnutnou informáciou o prostredí.

**prof. Ing. Ladislav Jurišica, PhD.**

**Ing. Roman Murár**

**Katedra automatizácie a regulácie**

**FEI STU Bratislava**

**Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava**

