

2. Модел перцепције / сензора

Након увођења модела промене стања у анализу, преостало је да се изведе и усвоји модел перцепције $p(z_t / x_t, z_{t-1}, u_{1t}) = p(z_t / x_t)$. Сходно основним једначинама Линеаризованог Калмановог филтера (поглавље 3) неопходно је ваљано дефинисати и усвојити нелинеарну функцију $h(x_t)$ која ће моделирати перцепцију мобилног робота, аналогно дефинисању нелинеарне функције $g(u_t, x_{t-1})$ која моделира модел промене стања (модел кретања) система.

Сензори представљају подсистеме на основу којих систем мобилног робота прима информације из окружења. Након интерпретације ових информација мобилни робот на основу претходно дефинисаних метода одлучивања и планирања доноси одлуку о следећој акцији, покрету или путању. Није тешко закључити да концепт *интелигентан*, а посебно концепт *аутономан*, почивају управо на сензорским информацијама које након тумачења "поруке" окружења, унутар управљачког подсистема, активирају актуаторе мобилног робота. С друге стране, приликом решавања проблема локализације сензори имају изузетно важну улогу, с обзиром да се Калманов филтер базира управо на *иновацији (иновационом вектору)* без кога не би било корака корекције, а тиме ни адекватног одређивања позиције и оријентације у простору, што би утицало и на успех мисије система мобилног робота.

Пре него што модел сензора, неопходан за комплетно извођење и дефинисање Линеарног Калмановог филтера (поглавље 3) буде изведен, потребно је увести неке основне поделе сензора који су у употреби у области мобилне роботике.

Основна класификација сензора

Основна подела сензора у роботизици односи се на физичке величине које је потребно идентификовати. У том смислу, 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 (давачи пута, тактилни сензори итд.)

Следећа подела коју можемо направити односи се на енергетски утицај окружења на систем и обрнуто. Можемо дефинисати следеће сензоре:

- ♦ *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 (ласер, ултразвук)

Као што се интуитивно може закључити, што модел сензора буде прецизнији, и што буде обухватао више могућих "одговора" окружења, то ће и резултати процеса локализације бити поузданији и тачнији. Детерминистичким приступом моделирању перцепције мобилног робота не могу се потпуно обухватити најважније карактеристике окружења, као ни грешке у мерењу које су апсолутно неизбежне. Уколико се управљачки алгоритам мобилног робота базира на детерминистичкој функцији перцепције окружења облика $z_t=f(x_t)$ и ако се полази од претпоставке *апсолутне тачности* сензора на основу чијег мерења ће доћи до акције/реакције актуатора, комплетан модел ће веома брзо, у експлоатацији, доживети "гомилање" грешака, како у сензорима тако и у актуаторима. Управо описана ситуација би резултирала поновном *калибрацијом* сензора и актуатора, па и интервенцијом на управљачком софтверу, а све то са собом повлачи и заустављање даље експлоатације мобилног робота. Наравно, овај процес би морао да се поновља велики број пута у току радног века робота што поприлично снижава ниво обављеног задатка, као и квалитет истог, а с друге стране цена експлоатације се знатно повећава.

Описана ситуација представља основни разлог увођења *пробабилистичке формулације перцепције мобилног робота*. Наиме, ако се модел сензора усвоји на следећи начин $p(z_t/x_t)$, са ваљано дефинисаном грешком мерења која је неизбежна у реалним условима, могуће је предупредити "гомилање" грешке у систему и на тај начин побољшати карактеристике и перформансе. Моделирање перцепције мобилног робота применом метода математичке вероватноће резултира знатно робуснијим системом, чиме се у реалним условима и реалном окружењу може значајно унапредити аутономност мобилног робота и могућност дефинисања адекватне акције, сходно стимулансу окружења. Наравно, моделирање перцепције мобилног робота претпоставља дефинисану грешку мерења, у опсегу који ће апсолутно задовољити постављене критеријуме, па је самим тим потребно посебно обратити пажњу на различите типове шума који се појављују у процесу експлоатације. Ако се предвиђање постојања и утицаја појединих шума ваљано уради онда ће то резултирати робуснијим системом који на погоднији начин може одговорити захтевима експлоатације али и карактеристикама окружења.

Основни модели перцепције мобилног робота

На основу претходних ставова може се закључити да ваљано моделирање информација из околине представља један од основних задатака које је неопходно обавити у циљу подизања нивоа аутономности мобилног робота. С обзиром на урођену комплексност и мултидисциплинарност самог процеса, општи приступ није могуће дефинисати, па је потребно за сваки посебан случај развијати и примењивати одговарајућу стратегију. Наиме, опште посматрано, постоје два основна приступа моделирању перцепције мобилног робота :

- ♦ У првом приступу, основу представља прикупљање информација из окружења и интерпретација појединачних сензорских мерења без претходног знања о могућем одговору околине на сензорски стимуланс. Иако оваква формулација звучи помало апстрактно, увидом у други приступ може се сагледати комплетна слика.
- ♦ Други приступ полази од претпоставке да се у окружењу налази велики број *карактеристичних објеката* или *карактеристичних облика*¹ који се релативно једноставно могу уочити употребом сензора и накнадно математички одредити. Овим приступом подразумева се да је уочавање и дефинисање карактеристичних облика у окружењу извршено у *off-line* режиму а да се процес идентификације истих обавља посредством сензора у *on-line* режиму.

У наставку ће бити дат на моделу перцепције мобилног робота који је базиран на дефинисању карактеристичних облика у окружењу. *Апстрактност синтагме карактеристични облик* може бити демистификована карактеризацијом појединачних облика и њиховом класификацијом. Свако окружење може се моделирати, и на тај начин знатно поједноставити, увођењем карактеристичних облика у анализу. За мобилни робот који своје кретање остварује ван затвореног објекта-простора, у природном окружењу, нпр. у пустињи могу се дефинисати *линија хоризонта на слици, контуре пута (ако пут постоји), рупа на путу, дрво, жбун, стена* итд. као типични, карактеристични облици. С друге стране, за мобилни робот који кретање остварује унутар неког затвореног простора (универзитетски комплекс, болница, школа, банка итд.) могу се претходно уочити и дефинисати следећи карактеристични облици окружења:

- ♦ *Права линија* – настаје као пресек једног елемента окружења са другим елементом (нпр. пресек зидова са подом или плафоном просторије формира праву линију),
- ♦ *Угао* – настаје као пресек две или више правих линија,
- ♦ *Врата, праг, прозор*, итд.

Из претходног излагања није тешко закључити да свако окружење има своје карактеристичне облике и да се ти облици, у општем случају, не могу применити у неком другом окружењу са потпуно другачијим карактеристикама (дефинисање рупе у просторији тешко да би имало неког смисла, уосталом као и дефинисање праве линије или објекта типа угао у пустињи). Број уочених и дефинисаних карактеристичних облика у окружењу може бити изузетно велики и на пројектанту је да их успешно препозна и математички дефинише. Основна предност која се остварује применом оваквог приступа, а односи се на проблем перцепције, се заправо односи на значајно смањење меморијских капацитета неопходних за успешно функционисање управљачког подсистема (а и софтвера унутар њега), зато што се са унапред дефинисаним карактеристичним облицима окружења време потребно за њихову успешну идентификацију смањује. У оквиру овог курса разматраће се модел перцепције базиран на идентификацији карактеристичних облика у окружењу и то искључиво за мобилне роботе који се крећу у затвореним просторима.

¹ *Features*, енг.

Модел перцепције базиран на идентификацији карактеристичних "облика" објеката

Основна идеја која се налази у темељу овог модела је претпоставка да се за сваки објекат у окружењу мобилног робота који је идентификован сензорским подсистемом, може одредити *растојање* и *оријентација* објекта у односу на робот. Такође, претпоставља се да робот може, са готово апсолутном тачношћу, да идентификује сваку класу карактеристичних објеката ("облика") помоћу величине која се назива *вектор идентификације*, а који може имати и скаларану вредност, али у општем случају може бити и вектор. Вектором идентификације се може дефинисати боја објекта, висина, ширина, дебљина итд. Функција идентификације карактеристичних објеката је дата као:

$$f(z_t) = \{f_t^1, f_t^2, \dots, f_t^n\} = \left\{ \begin{bmatrix} r_t^1 \\ \phi_t^1 \\ s_t^1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} r_t^2 \\ \phi_t^2 \\ s_t^2 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} r_t^n \\ \phi_t^n \\ s_t^n \end{bmatrix} \right\} \quad (2.1)$$

где су r_t^i и ϕ_t^i растојање и оријентација објекта респективно у односу на мобилни робот, док је n број карактеристичних објеката у једном мерењу и у општем случају је променљива величина. Ако са m_{jx} и m_{jy} обележимо координате положаја карактеристичних објеката, унапред представљених систему мобилног робота посредством *мапе окружења*, онда ће сензорски модел бити:

$$\begin{pmatrix} r_t^n \\ \phi_t^n \\ s_t^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{(m_{jx} - x)^2 + (m_{jy} - y)^2} \\ a \tan 2(m_{jy} - y, m_{jx} - x) - \theta \\ s_j \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{\sigma_r^2} \\ \varepsilon_{\sigma_\phi^2} \\ \varepsilon_{\sigma_s^2} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

где су грешке $\varepsilon_{\sigma_r^2}$, $\varepsilon_{\sigma_\phi^2}$ и $\varepsilon_{\sigma_s^2}$ моделиране нормалном расподелом и претпоставља се да су међусобно независне.

Управо горња једнакост (2.2) представља модел нелинеарне функције $h(x_t)$ која је неопходна да би се извршила локализација коришћењем Линеаризованог Калмановог филтера (поглавље 3).

Дискусија

Моделом перцепције мобилног робота на основу идентификације карактеристичних "облика" објеката из окружења који је управо изведен и приказан могуће је затворити круг и применити Линеаризовани Калманов филтер (поглавље 3). Модел перцепције претпоставља постојање мапе окружења представљене параметрима m_{jx} и m_{jy} , као и могућност тачног дефинисања сваког објекта појединачно. Сваки карактеристични објекат представљен је растојањем мереним у координатном систему мобилног робота, оријентацијом у односу на мобилни робот и вектором идентификације који успоставља везу између мерења у тренутку t и објекта који је препознат.

Иако уведени модел има значајне предности у односу на остале моделе перцепције, он ипак показује и неке "урођене" недостатке. Наиме, ако се сходно основној поставци задржимо на мобилним роботима који се крећу у објектима, онда ће проблеми везани за сам робот настати оног тренутка када у једном тренутку буде препознао исувише велики број карактеристичних објеката истог типа. Улазак у конференцијуску салу или учионицу, из угла мобилног робота може бити поприлично проблематично с обзиром да ће робот препознати велики број карактеристичних "облика" типа права линија (ногаре столица) што може изазвати праву конфузију у управљачког алгоритму и резултирати прекидом рада. Наравно, кретање и доношење одлука у оваквој ситуацији ипак може бити остварено осмишљавањем алгоритма који би био у стању да разреши новонасталу дилему.