

4-8.Robotika. Základní architektura robota, jeho kinematika a dynamika, čidla, akční členy. Fúze senzorických dat. Tvorba strojového modelu prostředí. Plánování trajektorie robota a navigace. Řízení pohybu robota s využitím modelu prostředí a metod dynamického plánování.

Co je to kognitivní robot?

Kognitivním robotem rozumíme počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní a cílově orientované interakce s reálným prostředím v souladu s instrukcemi od člověka. Interakcí rozumíme vnímání a cílové působení na prostředí.

Kognitivní robot je schopen vykonávat následující činnosti:

1. Vnímání a rozpoznávání prostředí
2. Vytvářet a průběžně přizpůsobovat vnitřní reprezentaci, model prostředí.
3. Na základě této reprezentace a v souladu se zadanými cíli rozhodovat o vlastní činnosti
4. Ovlivňovat prostředí tj. manipulovat s předměty a pohybovat se v prostředí.
5. Komunikovat s člověkem v přirozeném nebo umělém jazyku

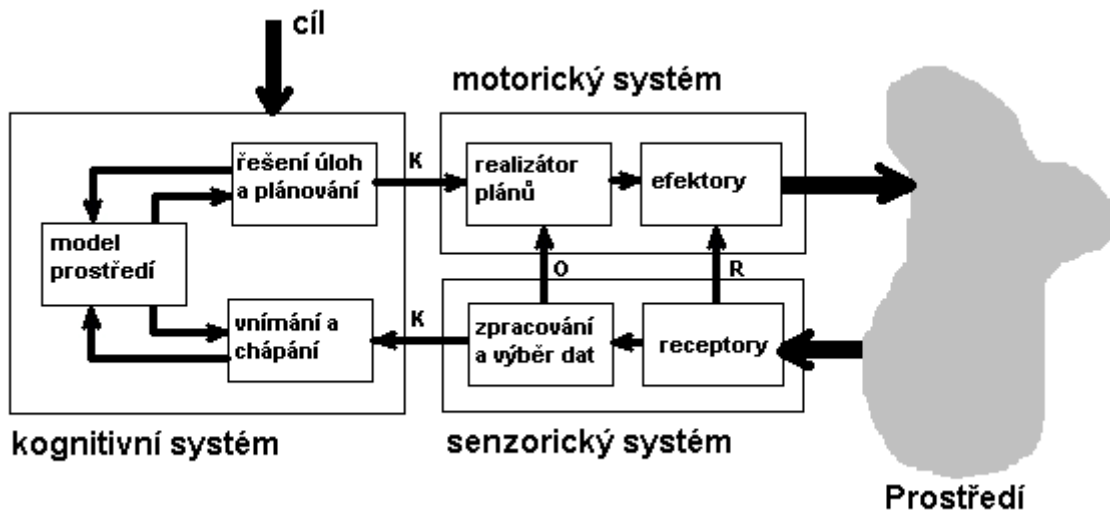
Pozn. Tyto schopnosti nemusí být vždy uplatněny všechny v plné míře.

Historie, vývoj robotů

0. generace
 - nevyužívají informace o vnějším prostředí
 - řídicí systém není centralizovaný
 - programování = nastavení dorazů
 - řízení PTP (point to poin)
1. generace
 - řídicí systém centrální
 - informace o vnějším prostředí maximálně typu on/off
2. generace
 - centrální řídicí systém využívá informace o vnějším prostředí v komplexní formě
 - řídicí systém je adaptivní, tj. je schopen přizpůsobit své chování aktuálnímu stavu prostředí (musí mít paměť)
3. generace (kognitivní robot)
 - musí využívat informaci z vnějšího prostředí (kognitivnost, tj. poznávání smysly)
 - cílové chování, tj. stačí zadat cíl a robot sám generuje plán, tj. posloupnost akcí vedoucích k dosažení cíle
 - každá vygenerovaná akce je formou zpětnovazební smyčky na vnější prostředí, tj. je porovnávána se zadaným cílem
 - robot je schopen sám se učit, tj. je schopen uchovat určité vztahy mezi situací ve vnějším prostředí a tím co je schopen realizovat (paměť, vnitřní model prostředí), je schopen zobecňovat (z množiny klasifikovaných příkladů)

Robot jako kybernetický systém

Kybernetický přístup se soustřeďuje především na ty aspekty, které souvisí s pojmy informace, rozhodování a zpětná vazba. Kybernetický systém je definován jako množina prvků, množina informačních nebo signálních závislostí mezi těmito prvky navzájem a množina obecných závislostí (informačních i fyzikálních) mezi těmito prvky a vnějším prostředím. Právě přítomností fyzikálních vlivů (např. přemístění předmětu) se roboty odlišují od čistě informačních systémů, jako jsou např. počítače. V prvním přiblížení se robot jako kybernetický systém skládá ze tří subsystémů, tj. sensorický, motorický (lokomoční) a kognitivní subsystém, viz. obr. 1.



obr. 1

Základní architektura robota

Jak bylo řečeno výše, nejzákladněji můžeme architekturu, systém robota rozdělit na tyto podsystémy, řídicí (kognitivní), sensorický (vstupní) a motorický, lokomoční (výstupní).

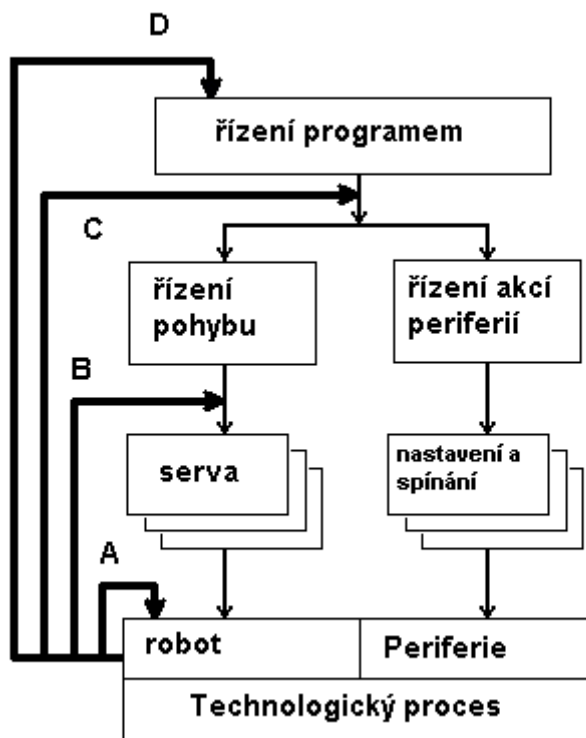
Řídicí systém

Řídicí, lépe řečeno kognitivní systém (nestará se o řízení, spínání jednotlivých efektorů, motorů) tvoří jakýsi mozek robotu. Provádí hlubší analýzu údajů, dat o vnějším prostředí, snaží se je klasifikovat (rozpoznat), viz. obr. blok vnímání a chápání. Dále řeší úlohy, plánuje, tj. stanovuje sekvenci akcí vedoucí k dosažení zadaného cíle. Výsledkem je plán, program, viz. obr. blok řešení úloh a plánování. Obě předcházející činnosti se neobejdou bez vnitřního modelu prostředí, který slouží jako paměť stavu vnějšího prostředí, viz. obr. 1 blok model prostředí. spojení bloků vnímání a chápání, model prostředí a řešení úloh a plánování tvoří nejvyšší zpětnou vazbu, tzv. kognitivní zpětnou vazbu, viz. označení K v obr. 1.

Plán činnosti, který je předán motorickému systému obecně, může obsahovat podmíněná větvení, umožňující různé alternativy další činnosti. Kterou z alternativ realizátor plánů, viz. obr. blok realizátor plánů použije, to závisí na nových, aktuálních v reálném čase obdržených datech, přičemž těmito datům už není v pravém slova smyslu potřeba rozumět, důležité jsou jen jejich hodnoty. Realizátor plánů je získá zpravidla na vyžádání přímo od sensorického systému. Právě popsaná zpětná vazba, tj. spojení sensorický systém, realizátor plánů se nazývá operační zpětná vazba, viz. označení O v obr. 1.

Nejnižší zpětnovazební smyčka (nejnižší úroveň zpětné vazby) představuje spojení receptorů a efektorů a nazývá se reflexní zpětná vazba. Typickým příkladem je například nárazník, který v případě nárazu do překážky okamžitě (přímo) vypíná motory lokomočního systému robota, viz. značení R v obr. 1.

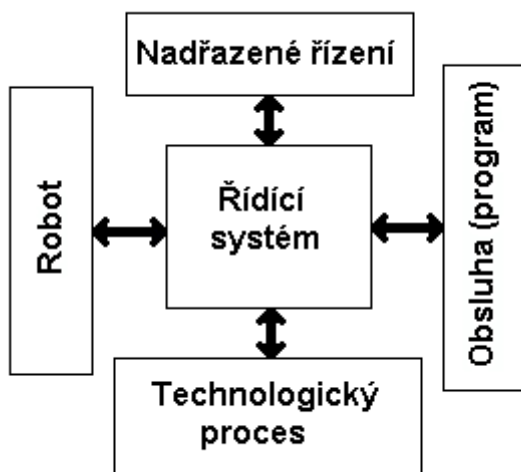
Hranice mezi jednotlivými právě popsanými zpětnými vazbami nejsou ostré a jednotlivé vazby se mohou u různých typů reálných robotů různě prolínat, viz obr. 2.



obr. 2

Obr. 2 příklad zpětných vazeb v robotickém systému. A – mechanická zpětná vazba, bez účasti řízení, například dorazy, B – zpětné vazby servomechanismů, zpětnovazební nastavení přesné polohy, hodnoty rychlosti otáček (viz. Wattův regulátor) atd., C – geometrická zpětná vazba, aby robot skutečně jel po vypočítané trajektorii, křivce, D – programová, daná programem, tj. plánem, viz. kognitivní zpětná vazba.

Řídící systém představuje také „komunikační centrum“, tj. řízení toku informací na vyšší úrovni, například s nadřazeným počítačem v případě mobilního robota, viz. obr. 3.



Obr. 3 Řídicí systém jako „komunikační centrum“

Senzorický systém

Senzorický systém se skládá ze dvou částí. První jsou receptory, tj. senzory, čidla která transformují vstupní fyzikální signály různých forem ve vhodně zakódované vnitřní (nejčastěji elektrické) signály. Druhá část, tj. zpracování a výběr dat zde probíhá předpříprava signálů, tj. jejich vzorkování, kvantování, filtrace a jejich výběr, podle důležitosti nebo podle toho ,na které se systém táže.

Motorický systém

Motorický systém lze rozložit na realizátor plánů, který má obdobnou funkci jako řadič v počítači a na efektory, tj. akční členy, motory, které realizují jednotlivé akce ve vnějším prostředí, tedy ovlivňují, mění vnější prostředí.

Kinematika robota

Kinetika robota vyšetřuje geometrii pohybu ramene robota, resp. jeho chapadla v prostoru. Nezabývá se příčinou pohybu, tj. silou. Předpokládá, že rameno tvořené částmi spojenými klouby lze modelovat soustavou tuhých těles. Tuhé těleso je z hlediska kinematiky zcela popsáno polohou a orientací vzhledem k libovolnému pevnému bodu.

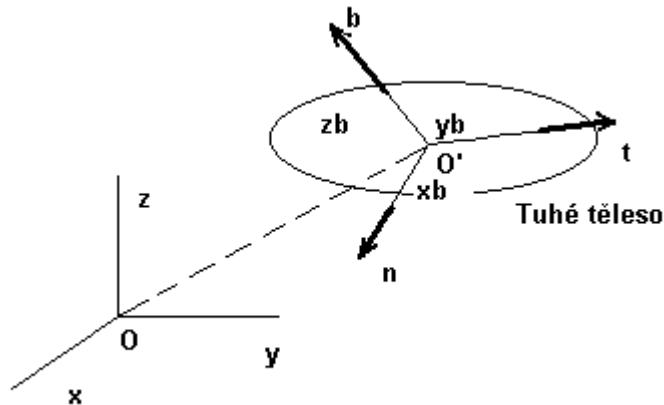
Úkolem manipulačního (motorického) systému robota je ovlivňovat prostředí změnou rozložení, umístění předmětů. Výkonnou částí manipulačního systému je manipulační paže, tj. pohybový mechanismus robota, který se sestává z několika členů, vytvářejících mezi sebou posuvné (prismatické) nebo otočné kinematické dvojice a který je zakončen chapadlem, tj. úchopným členem se dvěma nebo několika mechanickými prsty, popřípadě pneumatickou přísavkou nebo elektromagnetem.

Každý z členů (posuvný nebo otočný) kloub představuje jeden stupeň volnosti. Jelikož obecný pohyb v prostoru vyžaduje šest stupňů volnosti je obvyklý počet stupňů volnosti paže určené k obecné manipulaci s předměty také šest.

Polohu a orientaci ruky je možné vyjádřit dvěma způsoby

1. Vzhledem k souřadnicovému systému prostředí, tj. kartézské souřadnice s počátkem ve středu souřadnic podstavy paže (jinou možností jsou válcové nebo sférické souřadnice)
2. Vzhledem k souřadnicovému systému ruky (nebo jiného libovolného kloubu)

Poloha a natočení paže je dána polohou (úhlem otočení) všech kloubů a velikostí posuvu prismatických kloubů.



Obr. 4 Transformace souřadnic

O – x, y, z světové souřadnice

BOD $x_0 = [x_0, y_0, z_0]$

O' některý bod tuhého tělesa

x_b, y_b, z_b osy souřadnic

O' - x_b, y_b, z_b souřadnicový systém vzhledem k O'

n, t, b jednotkové vektory ve směru souřadnic

matice 3×3 $R = [n, t, b]$ zcela popisuje orientaci tělesa vzhledem k O – x, y, z

Homogenní souřadnice

Umožňují popsat translaci i rotaci jednou maticí.

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + \mathbf{R} \mathbf{x}_b$$

Posun, translace Rotace

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{xb} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{R} & \mathbf{xb} \\ \hline \mathbf{0} & 1 \end{array} \right]$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{A} \mathbf{xb}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{R} & \mathbf{xb} \\ \hline \mathbf{0} & 1 \end{array} \right] \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ 1 \end{bmatrix}$$

Přímá transformace: $\mathbf{x} = \mathbf{A} \mathbf{xb}$

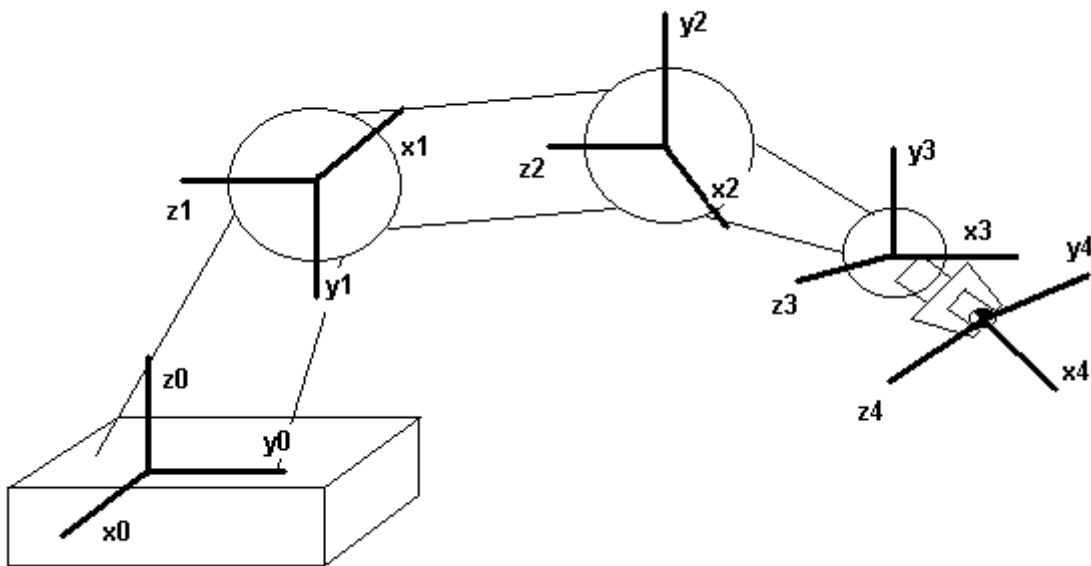
Inverzní transformace: $\mathbf{xb} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{x}$, ale $\mathbf{xb} = -\mathbf{R}^T \mathbf{x}_0 + \mathbf{R}^T \mathbf{x}$

Přímá kinematická úloha

- ze známých nastavení kloubů kinematického řetězu se spočítá poloha a orientace koncového členu (chapadla)
- jednoznačné a snadné

Inverzní kinematická úloha

- chceme dostat koncový člen do určité polohy a orientace
- zajímá nás jak nastavit jednotlivé klouby
- řešení nemusí existovat (bod mimo prostor robota)
- víceznačné řešení
- nemusí existovat analytické řešení (numerické řešení)



Obr. 5 Robot se čtyřmi členy kinematického řetězce

Pro robota viz. obr spočítáme transformační matici souřadnic x_4, y_4, z_4 do souřadnic x_0, y_0, z_0 , tj. řešení polohy koncové hlavičky při znalosti natočení jednotlivých kloubů:

$$T = A_{01} A_{12} A_{23} A_{34}$$

kde matice A_{ij} je transformační matice ze systému souřadnic i do systému souřadnic j

Dynamika robota

Dynamika robota respektuje příčiny pohybů, tj. velikosti jednotlivých sil. To znamená, že uvažuje reálné hmotnosti jednotlivých segmentů ramena, hmotnosti motorů a pohonů, třecí síly v kloubech atd. Díky tomu lze vypočítat průběh sil působících na ramena v čase atd. Z toho lze odvodit maximální nosnost robota, resp. ramena, tj. jak těžké břemeno může přemísťovat a dále potřebné výkony motorů, jejich momenty atd.

Čidla robota

Z hlediska kognitivní robotiky (zejména u mobilních) robotů patří mezi nejdůležitější typy čidel.

- CCD kamery, stereokamery (určování vzdálenosti z obrazu), všesměrové kamery (kamera plus kulové zrcadlo), pro interpretaci scény, detekci překážek
- ultrazvukové přijímače a vysílače, pro detekce překážek
- infračervené vysílače a přijímače (diody), detekce překážek
- laserové dálkoměry
- taktilní čidla (vodivá guma, matice spínačů, jednotlivé spínače), pro registraci doteku, nárazu
- inkrementální snímače (fotodiody – přerušovač – fototranzistor), pro určování ujeté vzdálenosti
- digitální akcelerometry, pro výpočet trajektorie dráhy z průběhu zrychlení pohybu robota

Typy čidel použitelných v robotice
Čidla světelného záření
fotorezistory, fotodiody, fototranzistory, řadové a maticové, CCD snímače
Čidla infračerveného záření
fotorezistory, fotodiody, fototranzistory, pyroelektrické čidla, termoelektrické čidla
Světlovody
Optoelektrická čidla
laserová dioda, žárovka, optron
Fluidiková čidla
Čidla polohy (absolutní x inkrementální, lineární x úhlová, dotyková x bezdotyková)
odporová, indukční, kapacitní, hallova sonda,
Čidla vzdálenosti
optoelektronická, laserový dálkoměr, akustická (ultrazvuk)
Čidla rychlosti
odstředivá, rezonanční, magnetická, indukční, tachodynamo, impulsní
Čidla zrychlení
odporová, piezoelektrická, indukčnostní
Čidla síly
odporové, polovodičové tenzometry, piezoelektrické, magnetoelastické, kapacitní
Čidla teploty
dilatační, odporová, polovodičová, termoelektrická, pyrometry,

Akční členy, motory

Požadavky

1. rychlost pohybu
2. bez cukání
3. přesnost polohování
4. plynulý rozjezd a brždění
5. samosvornost (šnekový převod)

Druhy

1. bez zpětné vazby
2. se zpětnou vazbou (servopohony)

Podle druhu pohonu

1. mechanické
2. elektrické
3. hydraulické
4. pneumatické

Mechanické

- nemají vlastní pohon, pohon od jiného stroje
- jen jeden motor a všechno ostatní od něj přes převody
- hřídele, ozubená kola, klínové řemeny, pákové převody, vačky

Ovládání pomocí spojek (spojky mechanické, elektrické)

Elektrické

- elektromotory (všechny druhy)
- krokové motory
- elektromagnety

Hydraulické

Výkon na kilogram nejuvhodnější (je-li motor přímo součástí kinematického řetězce)

- malá hmotnost pohybujících se součástí, tj. malé setrvačné hmoty
- konstrukčně kompaktní
- malé rychlosti jednoduše
- plynulý chod
- spolehlivost

Složky

1. stabilizovaný zdroj tlakové kapaliny
2. tlakový rozvod
3. systém servoventilů

Pneumatické

- rychlé přímočaré pohyby
- velké zdvihy
- měkký rozběh
- problémy s brzděním
- větší rozměry
- omezený výkon.
- hluk, nepřesnost
- levné

Fúze senzorických dat, slučování dat ze senzorů

- máme přesnější model světa
- máme data i v případě selhání nějakého senzoru
- neurčitost měření se snižuje s počtem nezávislých měření

Metody

1. Rozhodování – data ze senzoru s největší důvěrou
2. Průměrování – kombinace dat vážením podle míry důvěry
3. Zaměření pozornosti – jeden senzor se využívá k zaměření pozornosti, druhý pro zkoumání zaměřené oblasti (hierarchie)
4. Integrace – každý senzor má jinou úlohu

Pravděpodobnostní slučování

- bayesovské x nebayesovské
- fuzzy množiny

Úrovně slučování podle stoupající abstrakce (signály, pixely, příznaky, symboly)

Problémy

- vzájemně si odporující měření
- závislost mezi jednotlivými měřeními
- nutný matematický model neurčitosti měření
- nalezení postupu slučování informace

Tvorba strojového modelu prostředí

- znalost současného stavu (modelu) světa je nezbytná k formulaci úlohy (zjištění neshody s požadovaným cílovým stavem).
- vytvoření hypotetických stavů prostředí, na základě modelu, slouží k mapování stavového prostoru při hledání cesty k cíli.
- při budování modelu prostředí robot musí mít i informace o svých schopnostech, jak může působit na prostředí

Tvorba modelu prostředí je vlatně úloha repreyentace znalostí. Model světa je důležitý zejména z těchto dvou pohledů:

- vnímání souborných smyslových dat a porozumění jim, tj. jejich správného vřazení do stávajícího modelu.
- Imaginace, tj. vytváření hypotetických situací, potřebných k predikci a plánování budoucí činnosti

Reprezentaci prostředí můžeme rozdělit na ikonickou (například snímky scény) nebo symbolickou (popis pomocí symbolů, jazykem). Chceme-li běžném životě vyjadřovat a uchovávat poznatky o světě, použijeme yřejmě nějakého typu jazyka at' už přirozeného nebo umělého. V souladu s tím, strojový popis prostředí např. danou scénu můžeme popsat pomocí relačních struktur nebo pomocí predikátové logiky.

- realční struktura obsahuje prvky prostředí a vazby mezi nimi reprezentují relace (v pravo, nad, ...), lze ji zobrazit jako graf, typickým příkladem jsou sémantické sítě.
- jazyk predikátové logiky prvního řádu umožňuje popisovat stav prostředí a lze tedy pomocí něho vytvořit model prostředí. Model prostředí se sestává z formulí jazyka, zde máme prostředky jak dokazovat tvrzení (resoluce) atd., které využijeme při plánování.

Plánování trajektorie robota a navigace

Jedná-li se o rameno robota plánování, programování, učení pohybů ramena se provádí těmito způsoby:

- teach in – sled pohybů je dán ukázkou, při pomalých rychlostech
- playback systém – např. střikací robot v automobilce, do paměti se nahrají data nasnímaná při pohybu ruky lakýrníka
- off-line programování (neučí se přímo s robotem, podobně jako programování počítačů) – CAD návrh, body na trajektorii lze zadávat pomocí příkladů (robota do polohy x, y, z)

Navigace mobilního robota představuje komplexní problém, viz. výše kognitivní robot a obr. Vyžaduje spolupráci senzorů, budování modelu prostředí a plánování trajektorie, tj. hledání cesty ve stavovém prostoru, tj. prohledávání stavového prostoru.

Plánování z tohoto pohledu je nalezení cesty ve stavovém prostoru mezi počátečním stavem a cílovým stavem. Informace ze senzorů se využívají k vytváření, aktualizaci vnitřního modelu prostředí, na základě znalosti modelu mohou být tvořeny plány. Typickým příkladem v mobilní robotice je rozčlenění prostoru robota na diskrétní části, tzv. mapa prostředí. Model prostředí pak představuje mapa obsazenosti, tj. předpokládané umístění překážek. Tím je nadefinován stavový prostor a robot musí vytvořit plán, tj. sekvenci elementárních akcí, aby se přemístil z místa A do místa B na této mapě (můžeme si ji přestavit jako šachovnici) a nenarazil do žádné překážky. Elementární akcí se rozumí postup o jedno pole doleva, doprava, dopředu a dozadu. Pomocí metod prohledávání stavového prostoru (do hloubky, do šířky, A*, ohodnocení ceny, tj. jak daleko od cíle) se najde optimální cesta.

Při navigaci se využívá senzorů typu CCD stereokamery, laserové dálkoměry, ultrazvukové sonary, značky v prostoru (vertikální, tj. terče na zdech, horizontální, stopy na zemi).