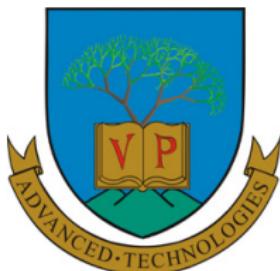


Robottechnika

Magyar Attila
Neukirchner László

Pannon Egyetem
Műszaki Informatikai Kar
Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék

magyar.attila@virt.uni-pannon.hu
neukirchner.laszlo@virt.uni-pannon.hu



Robottechnika:
Szervószabályozás

2015. szeptember

Áttekintés

- 1 Alapvető szabályozások (ismétlés)
- 2 Szervómotorok
- 3 Nemlinearitások
- 4 Szabályozási feladatok robotokban

Szabályozók feladatai

- **Értéktartó szabályozás:**

Az értéktartó szabályozás jellemzője az, hogy a szabályozott jellemző alapjele hosszú időtartam alatt állandó. Feladata a szabályozott jellemzőnek az alapértéken tartása és a határozatlan módon és időben jelentkező zavarások hatásának elhárítása. Az értéktartó szabályozások vizsgálatában elégges, ha az állandó nagyságú alapjel mellett a zavarást egységugrás-függvény szerint változónak tételezzük fel.

- **Követő szabályozás:**

A követő szabályozás jellemzője, hogy a szabályozott jellemző alapértéke időben üzemszerűen változik. Feladata, hogy a különböző módon változó alapjelet a szabályozott jellemző alakhűen kövesse és az esetleges zavarásokat elhárítsa. Az elsőrendű kérdés a követőképesség pontosságának a vizsgálata. A zavarás elhárítás itt másodrendű feladat. Így itt a szabályozási eltérés helyett a követés pontossága a minőségi kritérium.

Szabályozók típusai

• **Állásos szabályozó**

kimenő jele diszkrét értékeket vehet fel. Az állásos szabályozók előnye, hogy a kimenő jelüket szolgáltató teljesítményfokozat kapcsolóüzemű. A folytonos erősítőkhöz viszonyítva a megoldás olcsóbb, egyszerűbb, jobb hatásfokú. Az állásos szabályozók hátránya, hogy sohasem szabályoznak zérus maradó hibára. A kétállású szabályozás állandósult lengésben van.

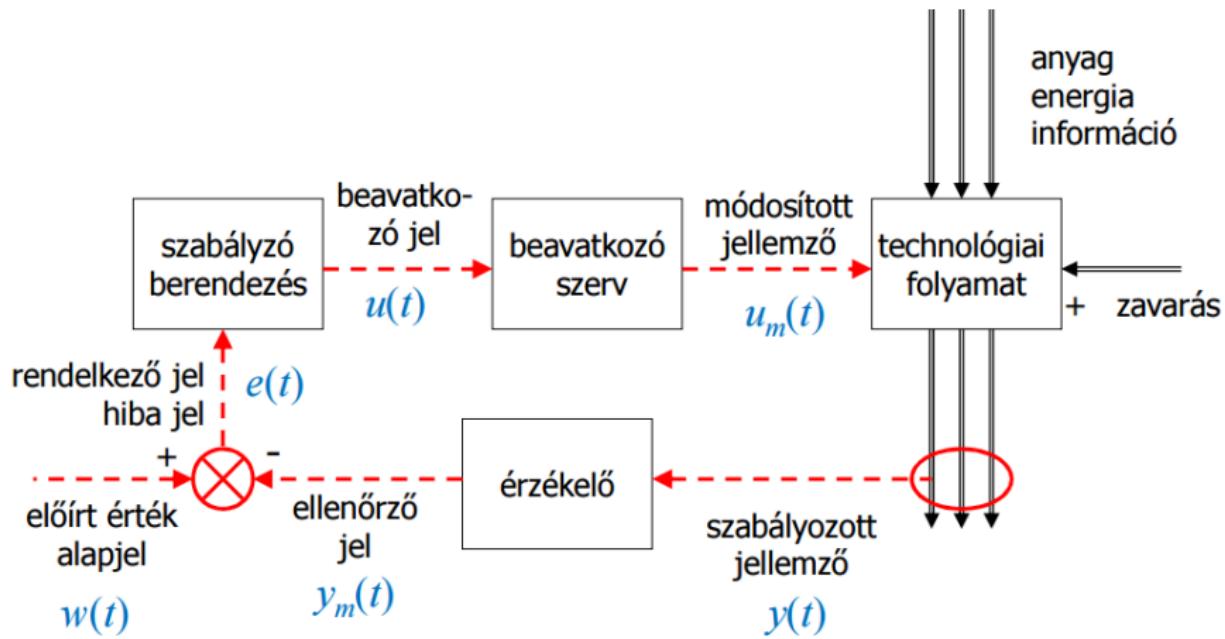
• **Időarányos szabályozó**

kimenő jele impulzusszélesség modulált (PWM). A kapcsolóüzemű működtetés révén előnyei megegyeznek az állásos szabályozók előnyeivel. Az impulzusszélesség modulátor kapcsolási frekvenciáját a táplált folyamat jellemző (legnagyobb) időállandójához képest nagyra választják. Ekkor a szabályozás viselkedése megegyezik egy folytonos szabályozáséval. Szabályozhat zérus maradó hibára.

• **Folytonos és diszkrét szabályozó**

két megvalósítási módja lehetséges. Az analóg szabályozók folytonos idejűek, azaz kimenő jelük bármely időpillanatban változhat. A számítógéppel realizált szabályozók diszkrét idejűek, kimenetüket csak mintavételi időnként változtatják.

Szabályozók funkcionális egységei



Elvárások: szabályozási idő csökkentése, statikus hiba minimalizálása, lengési hajlam minimalizálása.

Áttekintés

- 1 Alapvető szabályozások (ismétlés)
- 2 Szervómotorok
- 3 Nemlinearitások
- 4 Szabályozási feladatok robotokban

Legfontosabb szervómotorok

- **Állandómágneses egyenáramú szervomotor:** jó közelítéssel lineáris, ezért matematikailag a legegyszerűbben tárgyalható motor. Vezérlése is viszonylag egyszerű. Hátránya a kommutátor.
- **Állandómágneses szinkron szervomotor:** kefenélküli kivitelű, kisebb a súrlódás és a karbantartási igény. A kis tehetetlenségi nyomaték eléréséhez a forgórészben mágnes kell alkalmazni. Vezérlése az egyenáramú motornál bonyolultabb, inverterrel PWM elven változtatható frekvenciájú jelet állítanak elő.
- **Háromfázisú aszinkron motor:** előnyei megegyeznek a szinkron motoréval. Alumínium kalickával kis tehetetlenségi nyomatékú, olcsó. Vezérlésére PWM inverteres frekvenciaváltó szolgál.
- **Léptető motor:** kis teljesítmény igény esetén használják. Két fajtájuk van, a szinkron gép elvén működő állandómágneses forgórészű és a lágyvasas forgórészű motor. Mindkét típus kefenélküli kivitelű annak minden előnyével. Hátrányuk, hogy nyomatékuk lüktet és lépest téveszthetnek.
- **Reluktancia motor:** néven a lágyvasas forgórészű léptető motorhoz hasonló elven működő motort forgalmaznak a hozzá tartozó vezérlő elektronikával együtt. Az állórész és a forgórész is kiálló pólusú (fogazott). Az állórész egy-egy pólusát gerjesztve a forgórész a fogszám különbségnek megfelelően fordul el. A lüktetésmenetes nyomaték elérése érdekében a motor táplálása illesztett.

Egyenáramú szervomotor egyszerűsített egyenletei

Aramtúrafeszültség egyenlete:

$$U_a = I_a R_a + L_a \frac{dI_a}{dt}$$

Indukált feszültség:

$$U_i = k_1 \phi \omega$$

Elektromágneses nyomaték:

$$M = k_2 \phi I_a$$

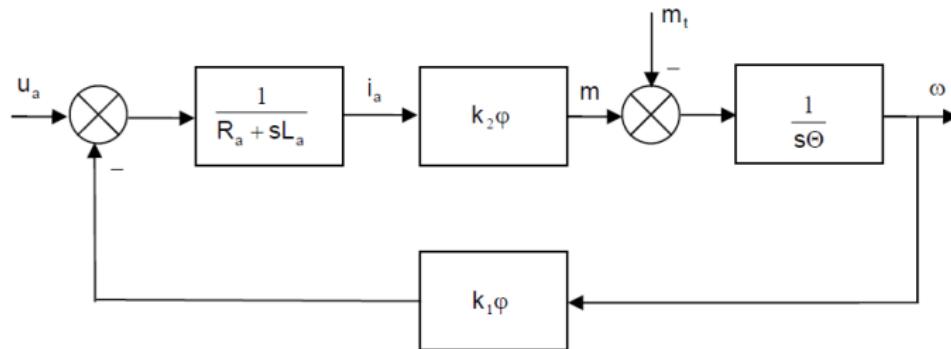
gyorsító nyomaték:

$$M - M_t = \Theta \frac{d\omega}{dt}$$

Ahol:

- U_a armatúrára kapcsolt feszültség
- I_a armatúra árama
- R_a armatúra ellenállása
- L_a armatúra induktivitása
- k_1, k_2 gépállandók
- ϕ fluxus
- ω forgórész szögsebesség
- M elektromágneses nyomaték
- M_t terhelő nyomaték
- Θ forgórész és terhelés együttes tehetetlenségi nyomatéka

Egyenáramú szervomotor hatásvázlata



Egy. motor átviteli függvényei:

$$\frac{\omega(s)}{U_a(s)} = \frac{A_M}{1+sT_M+s^2T_V T_M}$$

$$\frac{\omega(s)}{M_t(s)} = \frac{A_T(1+sT_V)}{1+sT_M+s^2T_V T_M}$$

Ahol:

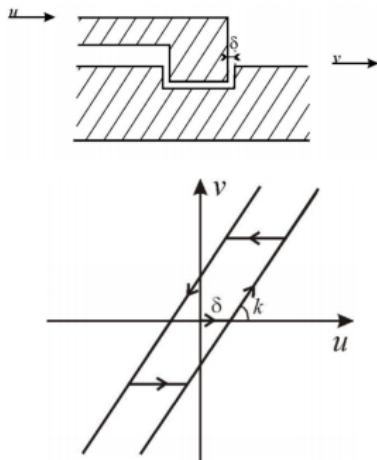
- $A_M = \frac{1}{k_1 \phi}$ motor átviteli tényező
- $T_M = \frac{\Theta R_a}{k_1 k_2 \phi^2}$ mechanikai időállandó
- $T_V = \frac{L_a}{R_a}$ villamos időállandó
- $A_T = \frac{-R_a}{k_1 k_2 \phi^2}$ terhelésre vonatkozó átviteli tényező

Áttekintés

- 1 Alapvető szabályozások (ismétlés)
- 2 Szervómotorok
- 3 Nemlinearitások
- 4 Szabályozási feladatok robotokban

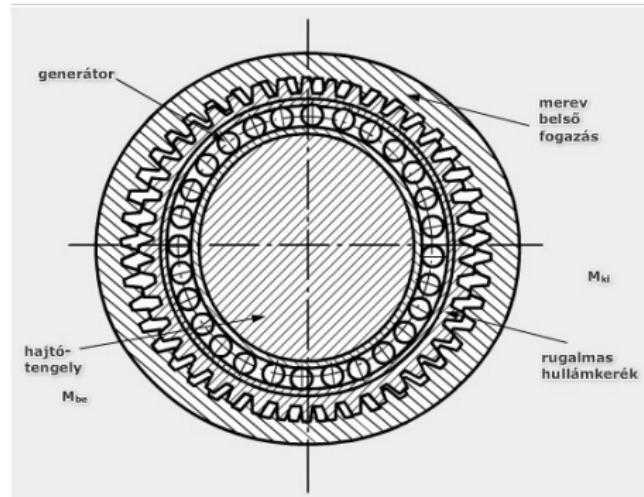
Fogaskerék ketyogás

Ketyogás jelleggörbéje:



Ahol: δ annak az elmozdulásnak az értéke amihez a kiemelt megváltozása szükséges; u a bemenet; v a kimenet.

Megoldás: Hullámhajtómű

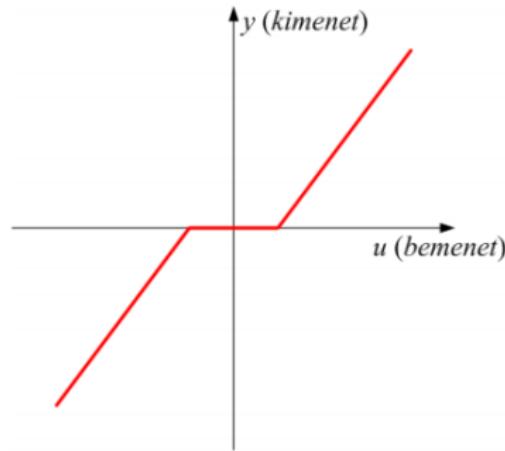


Érzéketlenség

Az érzéketlenségi sáv (dead zone) maradó hibát okoz. Oka legtöbbször a súrlódás, ami teljes mértékben nem kúszöböltethető ki.

Kikúszöbölése:

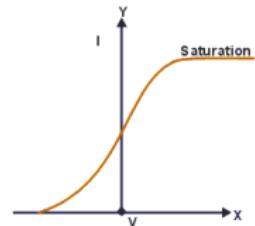
- kis súrlódású mechanikai áttétel
- kefe nélküli motorok
- a motor nagy hurokerősítéssel, vagy tachométerrel való visszacsatolása



Telítődés és elintegrálódás fogalmai

A telítődés (szaturáció):

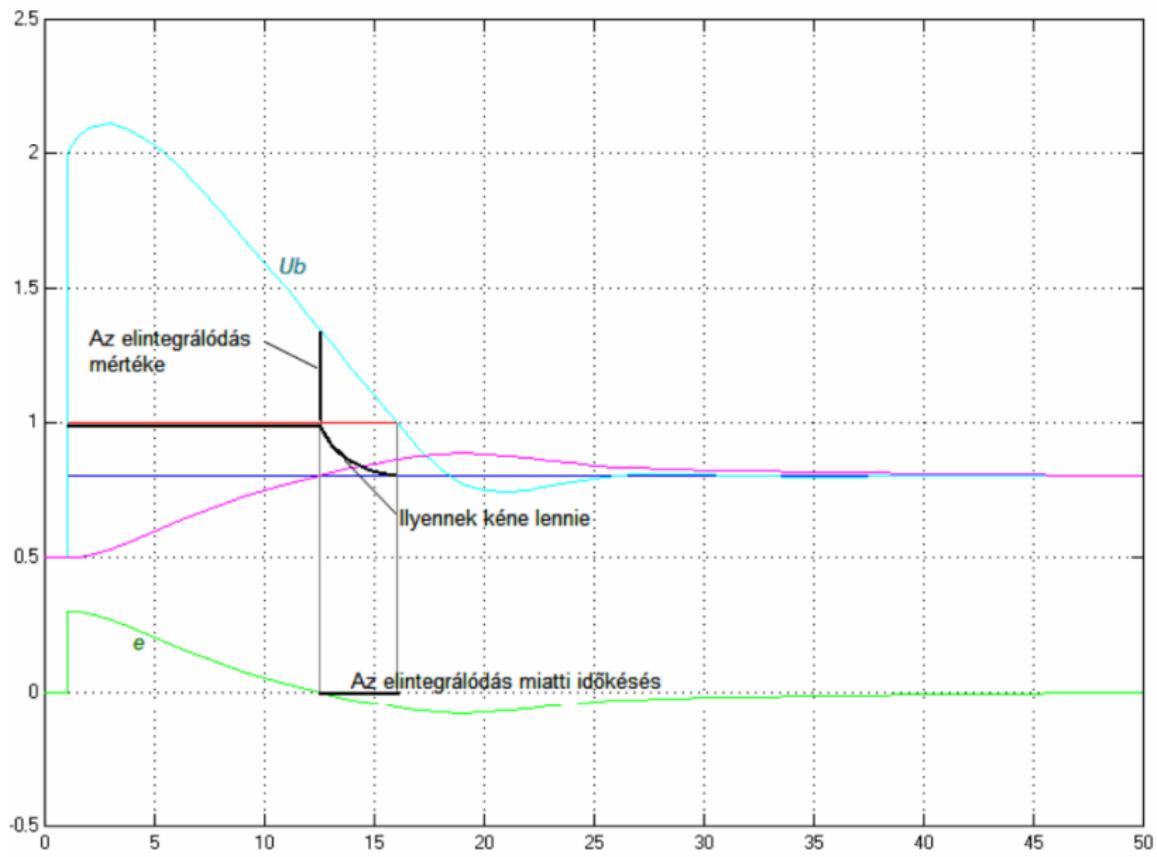
szinte minden rendszerben előfordul. Tipikusan a szabályozó kimenetén a D/A átalakítónál és a motorokat tápláló teljesítményerősítőnél tapasztalhatjuk hatását. Hatása képpen a deriváló hatás nem kellőképpen érvényesül.



ElinTEGRÁLÓDÁS:

Az a jelenség, hogy korlátozás előtt az irányítójel a határon túlhalad, túlvezérlés van. Majd miután korlátozzuk a szabályozó jelét, a túlvezérlés megszűnni ugyan, de az irányítójel később kezd el csökkenni, mint kéne. Emiatt a szabályozás késni fog, lassabb lesz. Kiküszöbölése

Telítődés és elintegrálódás fogalmai



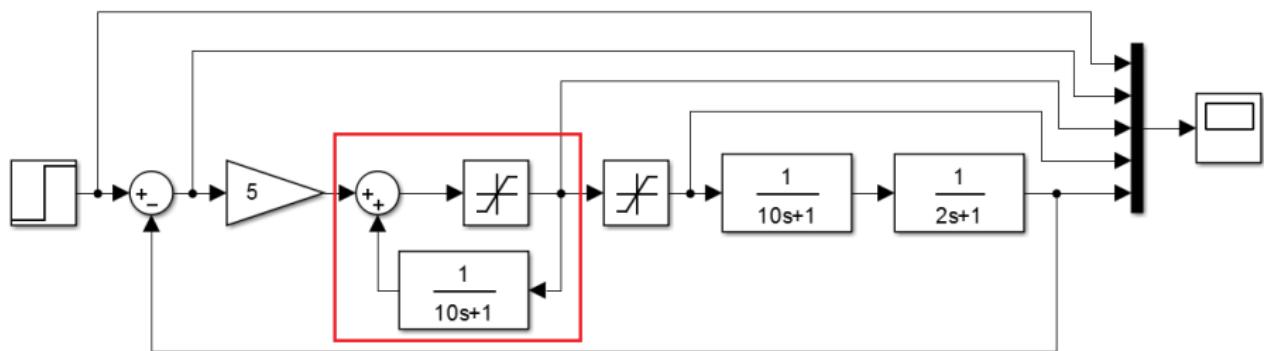
Foxboro struktúra

A PI tagot szaturáció segítségével realizálja. A szaturációt össze kell hozni a külső szaturációkkal.

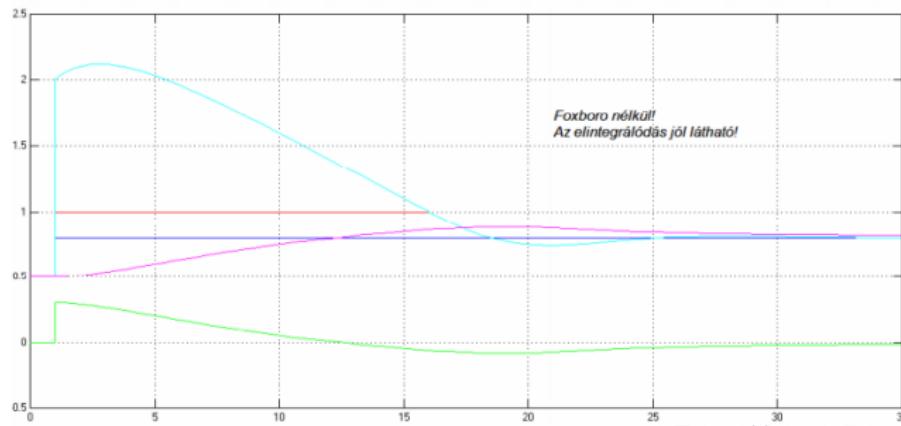
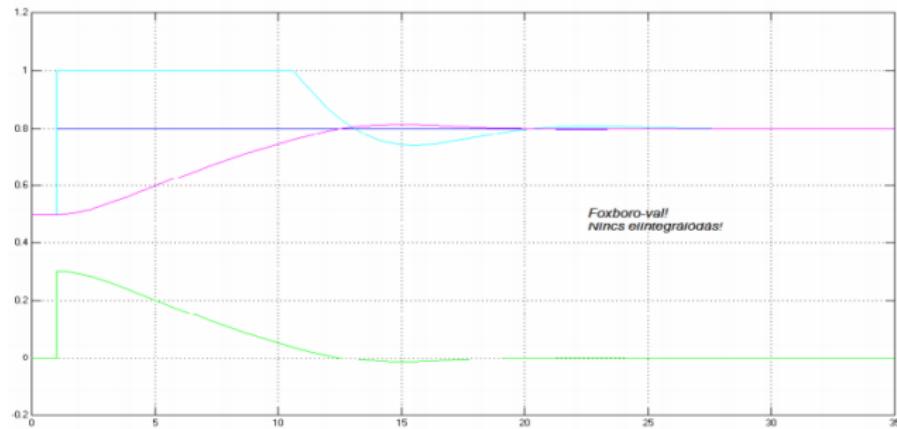
Átviteli függvénye:

$$\begin{aligned} W &= k_c \frac{1}{1 - \frac{1}{1+sT}} = \\ &= k_c \left(\frac{1}{sT} + 1 \right) \end{aligned}$$

Matlab példa:



Foxboro szabályozás eredménye



Áttekintés

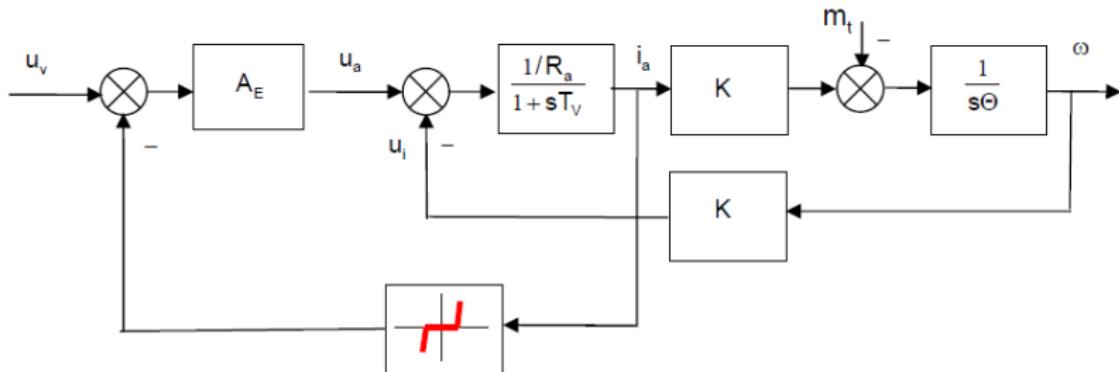
- 1 Alapvető szabályozások (ismétlés)
- 2 Szervómotorok
- 3 Nemlinearitások
- 4 Szabályozási feladatok robotokban

Áramkorlátozás

A feszültségvezérelt szervomotor armatúra árama ugrás alakú bemenő jel hatására nagy értéket vehet fel. Hatásai:

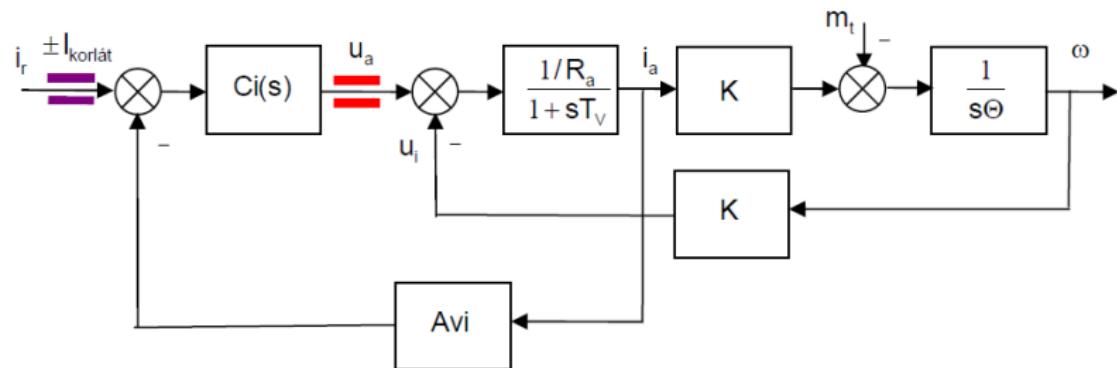
- Kefeszíkrázás
- Túlzottan nagy indító nyomaték (tekercselés, mechanika károsodik)
- Tartósan nagy áram (leégetheti a motort)

Áramkotrát hatásvázlata:



Áram szabályozás

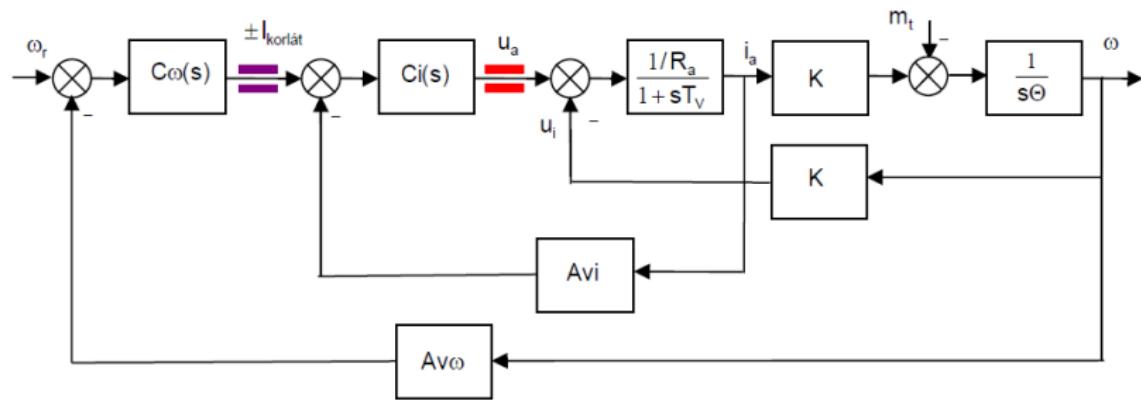
Sokszor nyomatékszabályozásnak mondják azt az esetet is, amikor nem a motor tengelyén fellépő nyomatékot mérik, hanem a motor elektromágneses nyomatékát szabályozzák. Ez a eset az **áramszabályozás**. Az áramszabályozás fölöslegessé teszi a külön megépített áramkorlátozást. Áramszabályozás hatásvázlata:



A hatásvázlatban a C_i áramszabályozó magában foglalja a feszültséggenerátoros jellegű teljesítményerősítőt.

Fordulatszám szabályozás

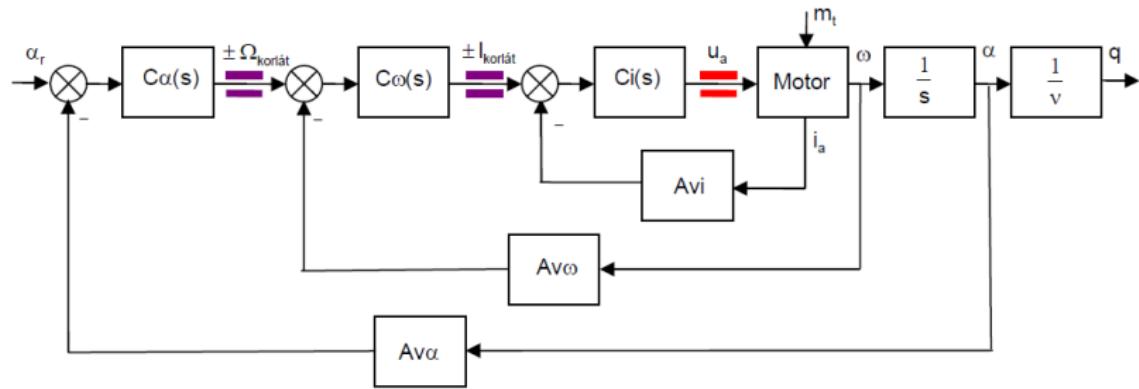
A feszültségvezérelt motor fordulatszám szabályozása megoldható a szögsebesség mérésével megvalósított egyhurkos szabályozással. Gyakoribb a kaszkád szabályozás, szögsebesség szabályozás alkalmazása alárendelt áramszabályozással Fordulatszám szabályozás hatásvázlata:



Az áramszabályozás eredője egytárolós arányos tag. A külső kör szempontjából a folyamat egytárolós integráló, az indukált feszültség által okozott zavarással.

Pozíció szabályozás

A kaszkád szabályozások egyik lehetősége a pozíciószabályozás alárendelt áramszabályozással. Ekkor a folyamat kétszeresen integráló. Használják a belső áramszabályozó kört a motor nyomatékába való beavatkozásra és áramkorlátozásra. Pozíció szabályozás hatásvázlata:



A C_ω szögsebesség szabályozó alapjelénél korlátozzuk a forgás sebességét. A külső pozíciószabályozás szempontjából a folyamat többtárolós integráló. A C_α pozíciószabályozó rendszerint PD típusú, mert a legtöbb pozícionáló motor esetében követelmény a pozíció lengés mentes beállása.

Robottechnika: Navigáció

2015. szeptember

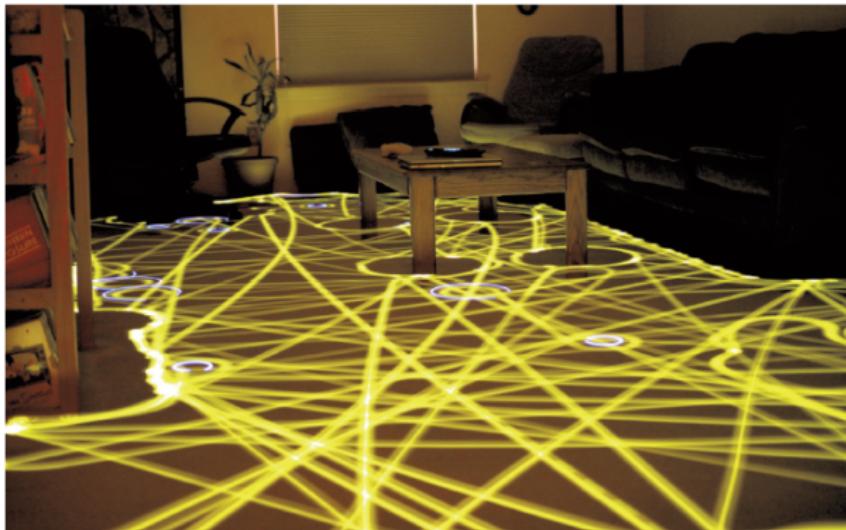
Áttekintés

5 Navigáció

- Reaktív navigáció
- Térkép alapú navigáció
- Összefoglalás

Navigáció

- "Az a folyamat, melynek során egy adott járművet a kívánt célba irányítunk." (172-1983 IEEE szabvány)
- Típusai
 - Reaktív navigáció (vonalkövetés, véletlen bejárás, ...)
 - Térkép alapú navigáció (az aktuális pozíció minden ismert)



Reaktív navigáció

- A robot nem tudja, hol van
- Így is komplex feladatok oldhatók meg
 - Roomba
 - hangya, méh, egysejtűek

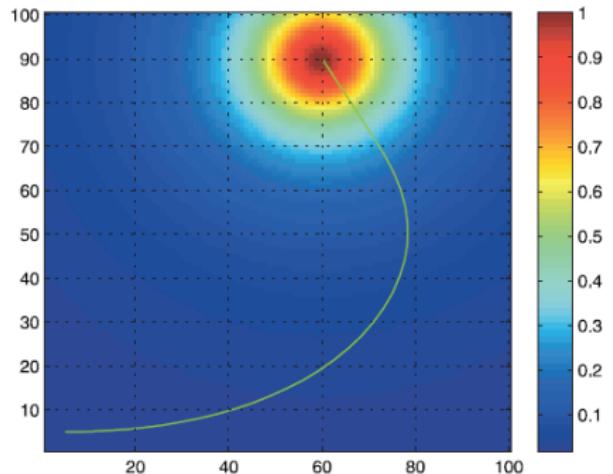
Definíció (Robot)

Célorientált gép, ami érzékel és cselekszik (de nem tervez!)

- Braitenberg jármű
- Egyszerű automata

Braitenberg járművek

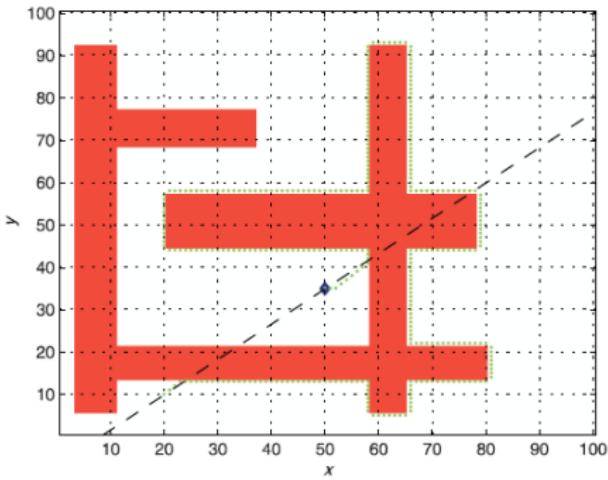
- Direkt kapcsolat a szenzorok és a motorok között
 - Semmiféle belső reprezentációja nincs a környezetéről, nem tervez
 - Pl. biciklimodell
 - egy skalárértékű mező (fény, hőmérséklet, pH)
 - a jármű jobb és bal oldalán két szenzor (s_R és s_L , ahol $s_{R,L}(x, y) \in [0, 1]$)



- Járműsebesség $v = 2 - s_R - s_L$
 - Kormányszög $\gamma = k(s_R - s_L)$
 - Szenzor-beavatkozó szabályozó
egy specifikus viselkedésre
 - Több viselkedésmintázat →
viselkedés alapú robotika

Egyszerű automata (bogár)

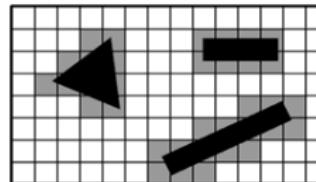
- Célkeresés akadályok jelenlétében
- Szenzorokat és a motorokat állapotgép köti össze
 - Van memóriája
- Többféle algoritmus létezik



- A célhoz húzott képzeletbeli vonal mentén mozog
- Akadályt pozitív irányban kerüli ki

Térkép alapú navigáció

- **Legjobb** út megtalálása A és B között \rightarrow térkép használata
- Robot = célorientált gép, ami érzékel, **tervez**, és cselekszik
- Térkép és pozíció többféle módon reprezentálható
 - Síkgeometria alapú reprezentáció
Pozíció: $(x, y) \in \mathbb{R}^2$
Akadályok: síkidomok (csúcspontokat tároljuk)
 - **Foglaltsági háló** (occupancy grid)
Mátrix reprezentáció, mátrix elemek = cellák
Feltételezések
 - a robot egy cellát foglal el
 - a robot tetszőleges szomszédos cellába átmehet (nincsenek nemholonomikus korlátozások)
 - képes meghatározni a pozíóját a síkban
 - a térkép alapján meg tudja tervezni az újtát



Távolság transzformáció

- Egyetlen nem nulla elem reprezentálja a célt

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \textcolor{red}{\otimes} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- Transzformált mátrix: az elemek értéke a céltól mért **távolság**

$$\begin{bmatrix} 2\sqrt{2} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & 2\sqrt{2} \\ \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \\ 2 & 1 & \textcolor{red}{0} & 1 & 2 \\ \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \end{bmatrix}_{\text{Euklidesz}}$$

$$\begin{bmatrix} 4 & 3 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & \textcolor{red}{0} & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}_{\text{Manhattan}}$$

- Navigáció: minimumkeresés a térképen (transzformációs mátrix)

Távolság transzformáció

- A valóságban akadályok is lehetnek

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \textcolor{red}{■} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \textcolor{blue}{\otimes} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- Transformált mátrix: az elemek értéke a céltól mért távolság az akadályt kikerülve

$$\begin{bmatrix} 2 + \sqrt{2} & 1 + \sqrt{2} & 2 & \sqrt{5} & 2\sqrt{2} \\ 1 + \sqrt{2} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \\ 2 & 1 & \textcolor{blue}{0} & 1 & 2 \\ \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} \end{bmatrix}$$

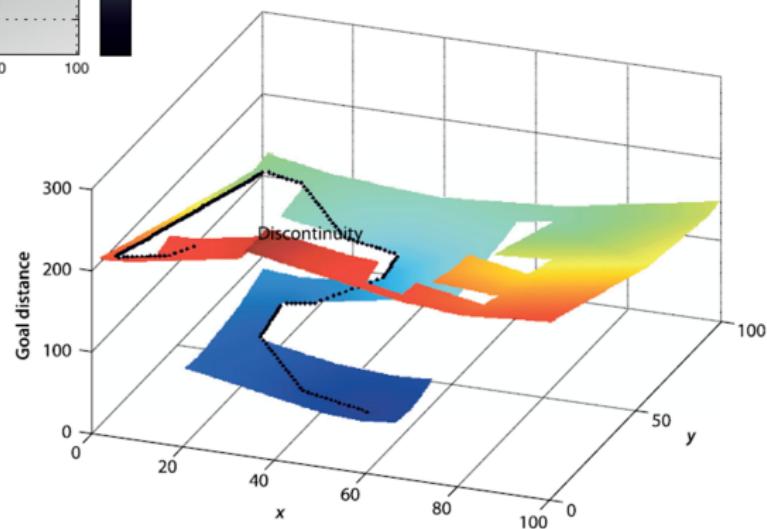
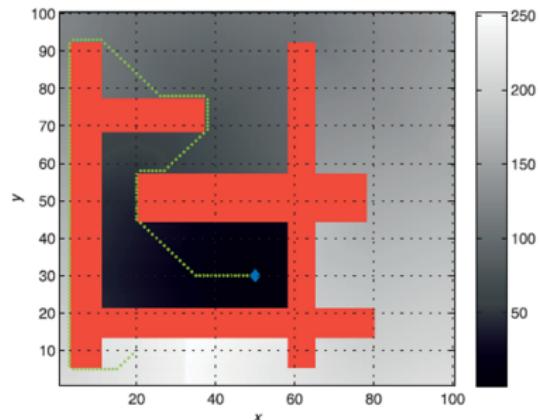
Euklidesz

$$\begin{bmatrix} 4 & 3 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & \textcolor{blue}{0} & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$$

Manhattan

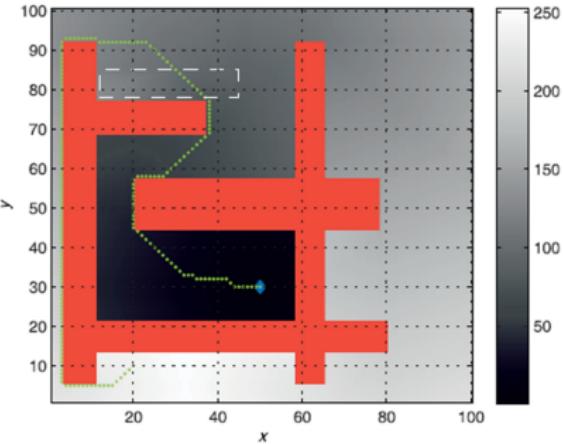
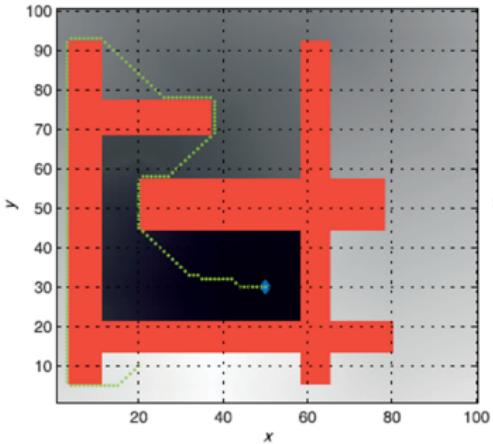
- Navigáció: minimumkeresés a térképen (transzformációs mátrix)

Távolság transzformáció



D* algoritmus

- Az A* algoritmus kiterjesztése
- Távolság helyett **költséget** minimalizál
 - Foglaltsági háló egy költségtérkép $c \in \mathbb{R}$, $c > 0$ költségekkel
 - Költség: idő, távolság, kényelem, táj szépsége,...
- Inkrementális újratervezés
 - Menet közben újratervezhető az útvonal
 - Menet közben változtatható a költségtérkép



Voronoj úthálózat módszer

- A navigáció kétfázisú folyamat

Tervezési fázis: a térkép készítése

Lekérdezési fázis: a térkép alapján az út megtervezése

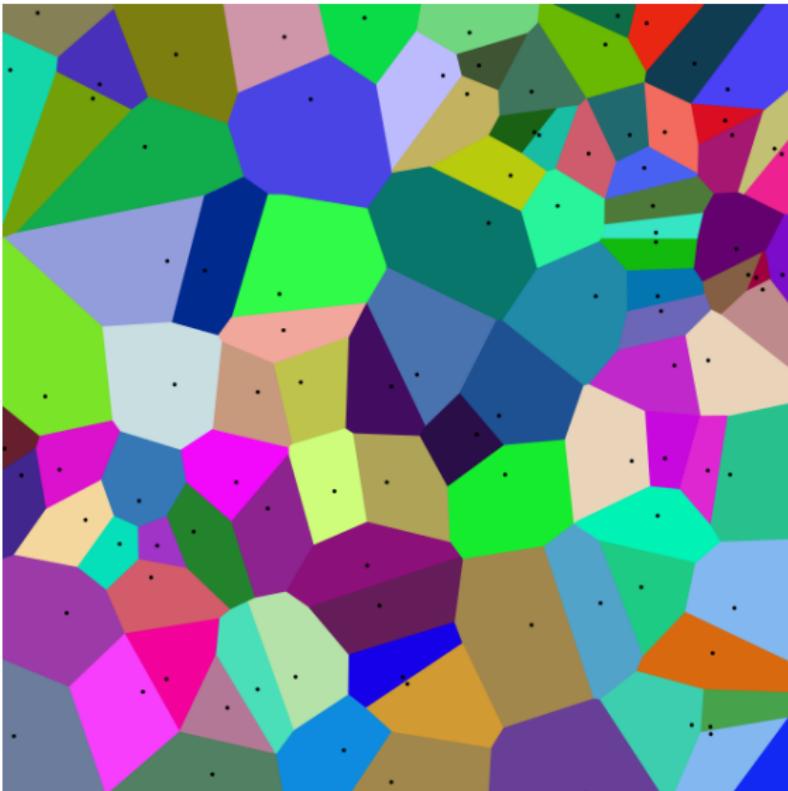
- Távolság transzformáció, D*

- tervezési fázis számításigényes
- lekérdezési fázis nagyon egyszerű
- ha változik a cél, a tervezési fázist ismételni kell

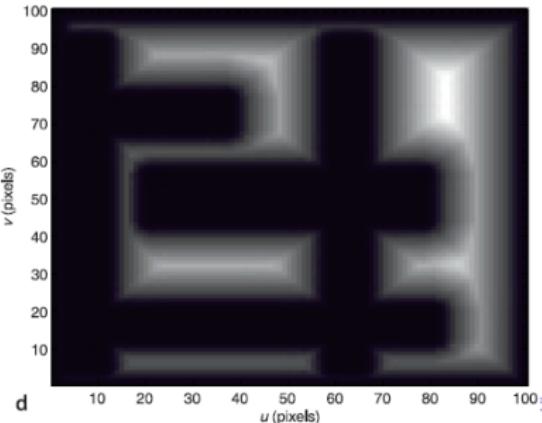
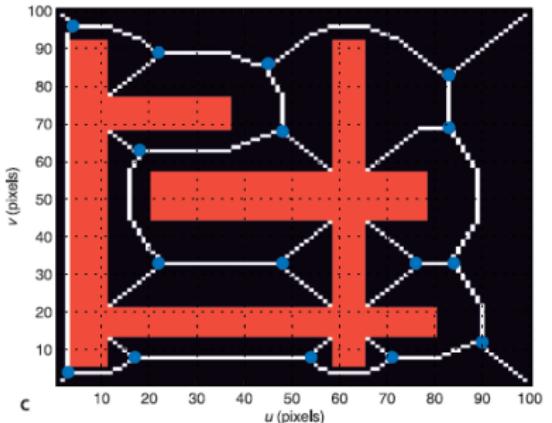
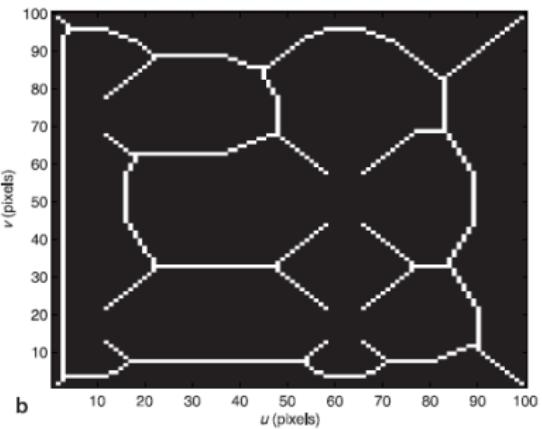
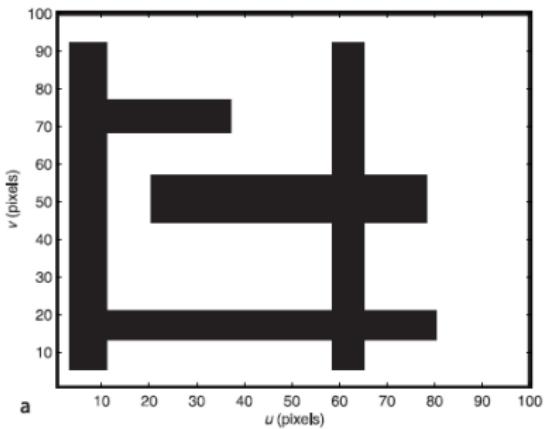
- Szkeletonizációs módszereknél megoszlik a bonyolultság

- tervezés: szkeleton (Voronoj-gráf) létrehozása
- lekérdezés: a Voronoj-gráfon útvonaltervezés

Voronoi diagram



Voronoij úthálózat módszer



Valószínűségi úthálózat módszer

- Probléma a szkeletonizációs módszerekkel
 - nagy számításigény
 - nagy térképek esetén nem használható

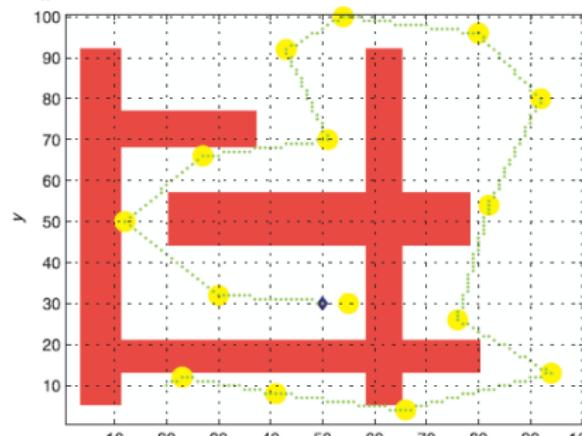
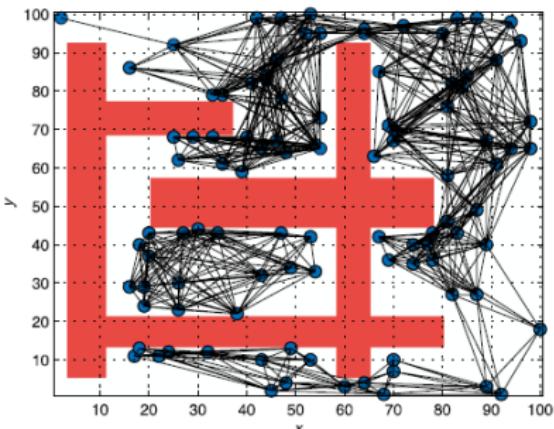
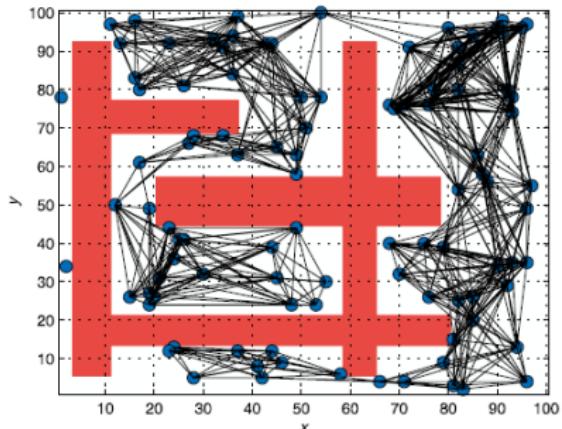
- Megoldás - **valószínűszégi úthálózat módszer (PRM)**

- Tervezési fázis:
- véletlenszerűen felveszünk N pontot a térképen
 - mindegyiket összekötjük a legközelebbi szomszédjával
- Lekérdezési fázis:
- útvonal tervezése a starttól a legközelebbi pontig
 - mozgás a gráfon
 - útvonaltervezés a célig

- Hátrányok

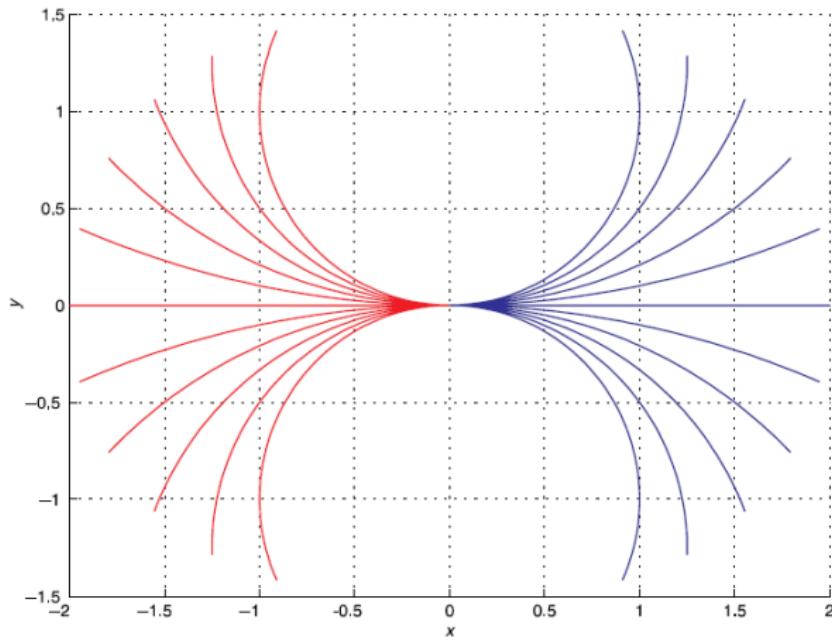
- A megtalált út **szuboptimális**
- A tervező minden futáskor új pontok jönnek létre
- Előfordulhat, hogy az úthálózat **nem összefüggő gráf**
- Hosszú keskeny átjárók kihasználása nem valószínű

Valószínűségi úthálózat módszer



Rapidly-exploring Random Tree (RRT)

- Mi van, ha a robot nem képes omnidirekcionális mozgásra (pl. bicikli)?



- Biciklimodell lehetséges útvonalai
 - Diszkrét felbontás ($v = \pm 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $\alpha \in [-1, 1]$, $t = 2 \text{ s}$)

Rapidly-exploring Random Tree (RRT)

- Térkép: gráf, csomópontjai a robot lehetséges $\xi = (x, y, \theta)$ konfigurációi

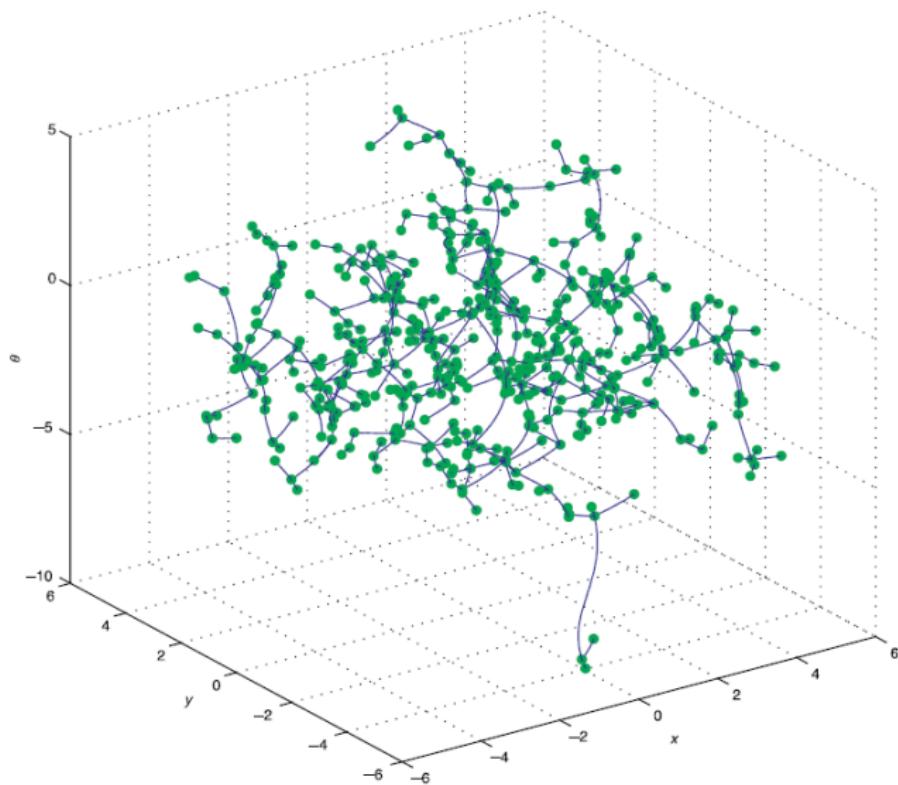
Algoritmus

- ① Az első csomópont a kiinduló konfiguráció $(0, 0, 0)$
- ② Egy $\xi_{\text{véletlen}}$ véletlen konfiguráció választása
- ③ $\xi_{\text{véletlen}}$ -hez legközelebbi $\xi_{\text{szomszéd}}$ csúcs kiválasztása a térképben
- ④ Vezérlés meghatározása, ami $\xi_{\text{szomszéd}}$ -ból $\xi_{\text{véletlen}}$ felé vezeti a robotot adott ideig. $\xi_{\text{új}}$ az új konfiguráció, amibe elért.
- ⑤ $\xi_{\text{új}}$ hozzáadása a gráfhoz, ugrás a 2. pontra

Akadályok kezelése

- $\xi_{\text{véletlen}}$ -ot eldobjuk, ha akadályban helyezkedik el
- $\xi_{\text{szomszéd}}$ -t nem adjuk a gráfhoz, ha az oda vezető út akadályon halad keresztül

Rapidly-exploring Random Tree (RRT)

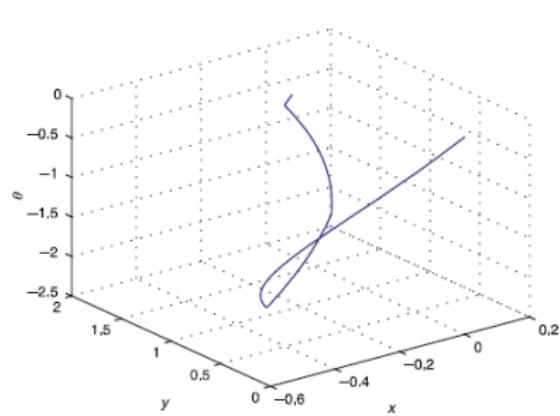
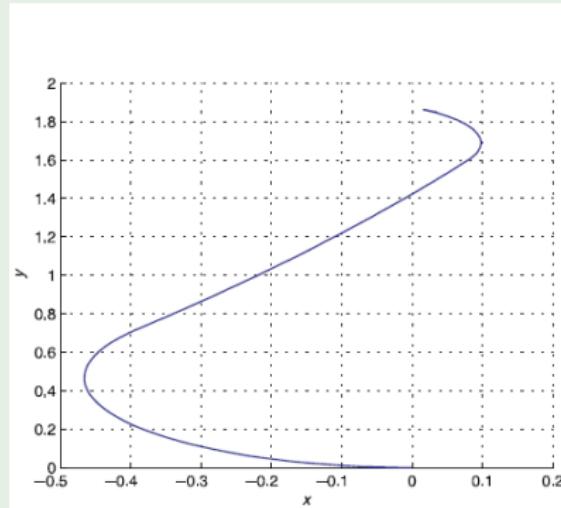


Rapidly-exploring Random Tree (RRT)

Példa

Oldalirányú elmozdulás biciklivel

- Feladat: elmozdulás oldalirányba 2 m-t



Összefoglalás

- Navigáció: a robot eljuttatása a célba
- Egyszerűbb módszerek
 - Braitenberg járművek
 - Állapotgép alapú algoritmusok
- Térkép alapú módszerek
 - Távolság transzformáció
 - D*
 - Valószínűségi úthálózat
 - RRT

