



Rendszertervezés 1 laboratórium

Dinamikus rendszerek modellezése és irányítása Simulink S-függvényekkel

IIT 1 mérés

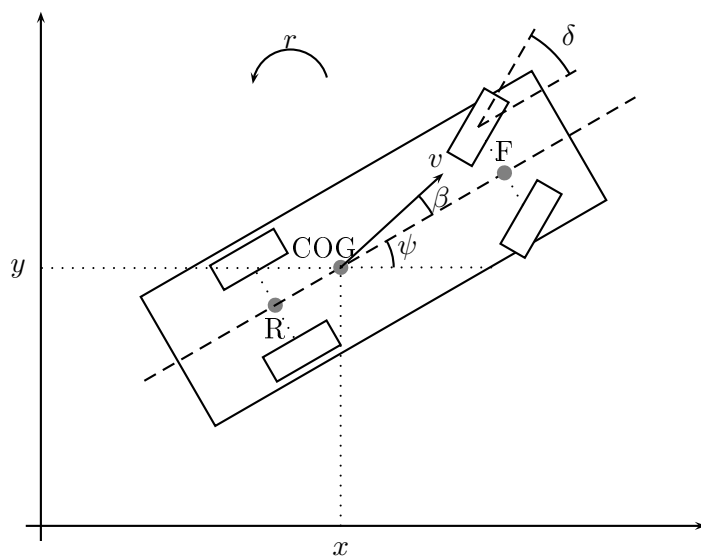
Összeállította: Kovács Gábor
tanársegéd
gkovacs@iit.bme.hu

BME Irányítástechnika és Informatika Tanszék
2012

1. feladat

Autóbusz dinamikus modelljének megvalósítása

Amennyiben egy jármű viselkedését szeretnénk tanulmányozni, valamilyen modellt kell alkalmaznunk. Ezek közül a szakirodalomban több is elterjedt, melyek bonyolultságukban és így pontosságukban eltérnek egymástól. A következőkben az ún. biciklimodellt (egy nyomú - one track - modell) fogjuk alkalmazni, amely nem tesz különbséget a jármű azonos tengelyen lévő kerekei között, azokat egységesen kezeli, így a négykerekű jármű viselkedése egy kétkerekű jármű (bicikli) modelljével írható le. Mint a modellek többsége, ez sem univerzális: csak megfelelő tapadási viszonyok és sebességek tartományában működik, azonban a hétköznapi életben előforduló útviszonyok között, kb. 10-100 km/h sebességgel haladó jármű viselkedését nagyon jól közelíti. A jármű modellje az 1.1. ábrán látható.



1.1. ábra. A jármű modellje

A modell állapotváltozói a következők:

- x – a tömegközéppont pozícióvektorának x irányú komponense [m]
- y – a tömegközéppont pozícióvektorának y irányú komponense [m]
- v – a jármű sebessége [m/s]

$$\begin{aligned}
l_f &= 3.67 \text{ m} & c_f &= 198000 \text{ N/rad} \\
l_r &= 1.93 \text{ m} & c_r &= 470000 \text{ N/rad} \\
m &\in [9000, 16000] \text{ kg} & J &= 10.85m \text{ kgm}^2 \\
\mu &\in [0.5, 1] & v &\in [1, 20] \text{ m/s}^2
\end{aligned}$$

1.1. táblázat. A Mercedes-Benz O 305 autóbusz paraméterei

- ψ – a jármű orientációja [rad]
- β – oldalcsúszási szög (a sebességvektor és az orientáció közti különbség, sideslip angle) [rad]
- r – a z tengely körüli forgás sebessége (yaw rate) [rad/sec]

A modell bemenetei:

- δ – kormányzó (az első kerekek és a jármű hossz tengelye által bezárt szög, a kormánymű áttétele miatt a kormánykerék szögelfordulása ettől eltér)
- α – a jármű gyorsulása

Az állapotegyenletek közül a pozícióra és a sebességre vonatkozó egyenletek triviálisan adódnak:

$$\begin{aligned}
\dot{x} &= v \cos(\beta + \psi) \\
\dot{y} &= v \sin(\beta + \psi) \\
\dot{v} &= a
\end{aligned}$$

A jármű orientációjának megváltozása megegyezik a z tengely körüli forgás sebességével:

$$\dot{\psi} = r$$

Az oldalcsúszási szög és a z tengely körüli forgás sebességére az alábbi nemlineáris egyenletek adódnak:

$$\begin{aligned}
\dot{\beta} &= \frac{a_{11}}{v} \beta + \frac{a_{12}}{v^2} r + \frac{b_1}{v} \delta \\
\dot{r} &= a_{21} \beta + \frac{a_{22}}{v} r + b_2 \delta
\end{aligned}$$

ahol az a_i és b_i együtthatók a következők:

$$\begin{aligned}
a_{11} &= -\frac{c_r + c_f}{m/\mu} \\
a_{12} &= -1 + \frac{l_r c_r - l_f c_f}{m/\mu} \\
a_{21} &= \frac{c_r l_r - c_f l_f}{J/\mu} \\
a_{22} &= -\frac{c_r l_r^2 + c_f l_f^2}{J/\mu} \\
b_1 &= \frac{c_f}{m/\mu} \\
b_2 &= \frac{c_f l_f}{J/\mu}
\end{aligned}$$

A fenti együtthatókban szereplő paraméterek közül c_f és c_r az első és hátsó kerekek kanyarodási merevsége (cornering stiffness), l_f és l_r az első és hátsó tengely távolsága a jármű tömegközéppontjától, m a jármű tömege, J a tömegközéppont körüli, z irányú tengelyre vett tehetetlenségi nyomaték, míg μ a kerekek és az út közötti tapadási együttható.

A gyakorlat során egy Mercedes-Benz O 305 típusú városi autóbusz modelljével fogunk dolgozni, melynek fizikai paramétereit az 1.1 táblázat foglalja össze.

1. Készítse el az autóbusz modelljét leíró Level 2 s-függvényt m nyelven! A modell állapotváltozói legyenek $x = [x, y, v, \psi, \beta, r]^T$, a bemenetek $u = [\delta, \alpha]^T$, a kimenetek pedig $y = [x, y, v, \psi]^T$! A jármű tömege (m) és a tapadási együttható (μ) legyenek az s-függvény paraméterei!
2. Készítsen el egy Simulink-diagramot az autóbusz mozgásának vizsgálatára! A modellt az előzőekben megvalósított s-függvénnyel adja meg, bemeneteit pedig egy interaktív jelforma-generátorral (**Sources / Signal Builder**) generálja! A modell kimenetei közül v -t és ψ -t egy-egy oszcilloszkópon (**Sinks / Scope**), míg az x és y kimeneteket közösen egy XY-grafikonon (**Sinks / XY Graph**) ábrázolja!

2. feladat

A szél hatása a jármű mozgására

A szél által a szélirányra merőleges A felületre kifejtett erő a szél által a felületnek átadott impulzus másodpercenként, azaz $m_{air}v_w/1$ [kg m / s/2], ahol m_{air} a felületre támadó levegő tömege, v_w pedig annak sebessége. Először azt kell kiszámítanunk, hogy mennyi a felületet támadó levegő tömege. A levegő sűrűségét ismerve ($\rho_{air} = 1.3\text{kg}/\text{m}^3$) elegendő csupán a másodpercenként a felületre jutó légtérfogatot kiszámítani, ami nem más, mint a szélnek kitett felület megszorozva a szélesebséggel: $V = v_w A$, így tehát a felületre ható erő: $F_w = \rho A v_w$ [N]. Hogy modellezzük a szél hatását a járművünkre, bontsuk fel a szél sebességvektorát egy jármű hossz tengelyével párhuzamos v_{tail} és egy arra merőleges v_{cross} komponensre (hosszirányú és keresztirányú szél). Amennyiben a szél iránya ϕ_w , akkor $v_{tail} = v_w \cos(\phi_w - \psi)$ és $v_{cross} = v_w \sin(\phi_w - \psi)$. Amennyiben a jármű hosszát, szélességét és magasságát rendre l , d és h jelöli, akkor a szélerők a következők:

$$F_{tail} = \rho d h v_{tail} = \rho d h v_w \cos(\phi_w - \psi) \quad F_{cross} = \rho l h v_{cross} = \rho l h v_w \sin(\phi_w - \psi)$$

Vizsgáljuk meg a szél által kifejtett erők hatását az állapotváltozókra! Kis oldalcsúszási szög esetén a jármű sebessége és a szél hosszirányú komponense párhuzamos, így az forgatónyomatékokat nem fejt ki, a szélerő pedig a jármű sebességvektorának nagyságára hat:

$$\dot{v} = \alpha + \frac{1}{m/\mu} F_{tail}$$

A keresztirányú szél ereje az oldalcsúszási szögre, míg forgatónyomatéka a z tengely körüli forgás sebességére hat, így a módosult állapotegyenletek:

$$\begin{aligned} \dot{\beta} &= \frac{a_{11}}{v} \beta + \frac{a_{12}}{v^2} r + \frac{b_1}{v} \delta + \frac{1}{m/\mu} F_{cross} \\ \dot{r} &= a_{21} \beta + \frac{a_{22}}{v} r + b_2 \delta + \frac{l_w}{J/\mu} F_{cross} \end{aligned}$$

A fenti egyenletekben l_w a jármű tömegközéppontjának és a jármű oldalfelületének aerodinamikai középpontjának távolsága. A paramétereket a Mercedes-Benz O 305 típusú busz esetén a 2.1 táblázat tartalmazza.

1. Módosítsa az előző feladatban kapott modellt úgy, hogy figyelembe veszi a szél hatását! A modell bemenetei és kimenetei legyenek $u = [\delta, \alpha, v_w, \phi_w]$, míg kimenetei legyenek $y = [x, y, v, \psi, \beta + \psi]$!
2. Vizsgálja meg a szél hatását a jármű mozgására!

$$\begin{aligned} l &= 11 \text{ m} & d &= 2.5 \text{ m} \\ h &= 2.95 \text{ m} & l_w &= 0.565 \text{ m} \end{aligned}$$

2.1. táblázat. A Mercedes-Benz O 305 autóbusz további paraméterei

3. feladat

Adaptív kormányzás megvalósítása

Az oldalszél hatásának kompenzálására alkalmazhatunk egy olyan szabályozót, mely a kormányzó megfelelő beállításával a jármű sebességvektorának irányát $(\beta + \psi)$ az előírt értéken tartja. Az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy a sebesség előírt iránya 0, azaz az x tengellyel párhuzamos, a kompenzációhoz pedig lineáris szabályozót alkalmazunk.

Lineáris szabályozó tervezéséhez szükségünk van a szakasz lineáris modelljére. Ezt a nemlineáris modell alapján a Matlab `linmod` parancsával készíthetjük el. A linearizáláshoz hozzunk létre egy új Simulink-modellt, majd abban egy megfelelő s -függvény blokkot, amely megvalósítja a nemlineáris járműmodellt (hasonlóan az előző feladatokhoz). A blokk bemeneteire kössünk Input portokat (`Sources / In1`), míg kimeneteire Output portokat (`Sinks / Out1`). A Matlab ezen blokkok alapján azonosítja a linearizálandó rendszer be- és kimeneteit. A `linmod` parancs paraméterei a linearizálandó rendszert tartalmazó Simulink-modell neve, illetve opcionálisan a munkapont (állapotváltozók és bemenetek), amely környezetében a linearizálás megtörténik (ezen felül is megadhatók még más paraméterek, ld. `help linmod`). A `linmod` függvény hívástól függően többféle értékkel is visszatérhet. Célszerű a függvényt úgy meghívni, hogy visszatérési értékei a rendszer linearizált állapotegyenletének mátrixai legyenek, pl. `[A,B,C,D]=linmod('sys',x0,u0)`.

Az A, B, C, D mátrixokból az ss függvény segítségével összeállítható a rendszer állapotterezes modellje. Amennyiben a rendszer egy bemenetéhez és egy kimenetéhez szeretnénk SISO-szabályozót tervezni, érdemes az állapotterezes modelltől átviteli függvény alakra áttérni (`tf`), majd az így adódó átviteli függvény-mátrixból a megfelelő bemenet és kimenet közötti SISO átviteli függvény kiszekcionálni (az i -ik bemenet és j -ik kimenet között a w átviteli függvény-mátrix $|w(j,i)|$ eleme teremt kapcsolatot).

1. Határozza meg az előző feladatban elkészített rendszer linearizált modelljét az $x_0 = [0, 0, 20, 0, 0, 0]$, $u_0 = [0, 0, 10, \pi/2]$ munkapontban!
2. Tervezzen a linearizált rendszer $\delta \rightarrow \beta + \psi$ átviteléhez terhelésbecslővel kiegészített állapotmegfigyelőt tartalmazó, állapotvisszacsatoláson alapuló szabályozót! A zárt kör pólusait helyezze az $s_{c\infty} = -5$, míg a terhelésbecslővel kiegészített megfigyelő pólusait az $s_{o\infty} = -10$ helyre!
3. Implementálja a szabályozót a Simulink-modellben és tesztelje annak működését!