Kálmán-szűrő és alkalmazása

Önálló projekt II., 2020/21 2. félév

Bakos Bence
Témavezető: Lukács András

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Budapest, 2021

A feladat

- Teljesítményfigyelő rendszer fejlesztése evezősök és edzőik számára
- Adatok, amik az evezőre szerelt szenzorból rendelkezésre állnak:
  - Szenzor orientáció (kvaterniókkal)
  - Tengelymenti gyorsulások (mg-ben)
  - Erőhatás
  - (Szögsebességek)
- Feladatok:
  - Csapásszám
  - Sebesség és teljesítménymérés
  - Pozíció meghatározás
  - Zajszűrés

Orientáció kvaterniókkal

- Minden $q = a + b \cdot i + c \cdot j + d \cdot k$ egységkvaternió meghatároz egy forgatást $\mathbb{R}^3$-ban a (b, c, d) vektor, mint tengely körül.
- Egy $v = (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$ esetén:
  $q(xi + yj + zk)q^{-1} = x'i + y'j + z'k$ és $v' = (x', y', z')$.
- Az "É-K-F" tengelyeket a standard bázisnak véve és ezeket minden időpillanatban az adott q-val elforgatva megkapjuk az É-K-F abszolút koordinátarendszerben az orientációkat.

Sebességbecslések

- Önmagában is hasznos és a teljesítményhez is szükséges.
- Abszolút irányokba konvertálás után gyorsulásokból integrálással
  - Kezdeti érték
  - Drift correction
- Tegyük fel, hogy egy gömbfelületen mozog a szenzor
  - Erős becslés, de úgy tűnik jól működik
  - Az r sugár beállításával az orientáció-adatokból könnyen számolható (megtett távolság $\sim$ főkör kis ívének hossza, $\Delta t = 1/100s$)
- Mihez viszonyítjuk?

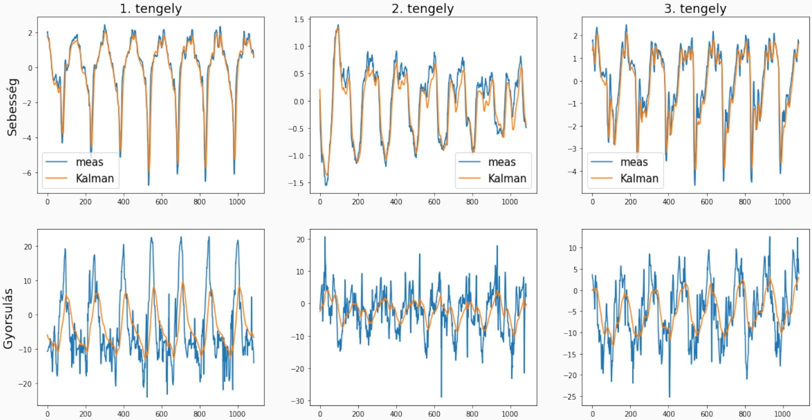
Kálmán-szűrő alapok

- Alapfeltevés: $x_k = F_k x_{k-1} + B_k u_k + w_k$, $w_k \sim \mathcal{N}(0, Q_k)$
- Mérések: $z_k = H_k x_k + v_k$, $v_k \sim \mathcal{N}(0, R_k)$
- Modell becslés: $\hat{x}_{k|k-1} = F_k \hat{x}_{k-1} + B_k u_k$,
- Végső becslés: $\hat{x}_k = (I - K_k H_k)\hat{x}_{k|k-1} + (K_k)(H_k x_k + v_k)$, ahol K_k az ún. Kalman-gain.
- Ha a mérési zaj kicsi, akkor a Kálmán-szűrő nagyobb súllyal számítja be a mérést, míg, ha R_k nagy, akkor inkább a modell becslést veszi figyelembe.

Kálmán-szűrő alkalmazása

- $d_t = (v_{1,t}, v_{2,t}, v_{3,t}, a_{1,t}, a_{2,t}, a_{3,t}) = (\mathrm{v_t}, \mathrm{a_t})$ az állapotvektor
- $d_t = \begin{pmatrix} I & I \cdot \Delta t \\ 0 & I \end{pmatrix} d_{t-1} + G_t c_t = A_t d_{t-1} + G_t c_t$, ahol I a 3x3-as egységmátrix, Δt pedig két időpillanat között eltelt idő. c_t a gyorsulásváltozás vektor, G_t a c_t hatását írja le d_t-re a Newton-törvények alapján.
- A mérés: $z_t = d_t + v_t$ $(H = I)$.
  - Gyorsulások a szenzorból, sebességek a gömbíves útbecslésből
  - A zajok a feltevésünk szerint normális eloszlásúak
  - $Cov(v_t) = \begin{pmatrix} \sigma_v^2 I & 0 \\ 0 & \sigma_a^2 I \end{pmatrix} \quad Cov(c_t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{ac}^2 I \end{pmatrix}$
  - σ_v, σ_a és σ_{ac} paraméterek (tapasztalati szórásokból).

Eredmények, továbbiak



Eredmények, továbbiak

Folytatás:

- Sebességszámítás további vizsgálata
  - Bemutatott sebességmodell ellenőrzése (edzésvideóval való összevetése), javítások eszközölése
  - Általánosított Kálmán-szűrő modellek (Extended Kalman filter, Unscented Kalman filter)
  - Integrálással származtatott sebesség (Kálmán-szűrő a drift kiküszöbölésére)
- Teljesítményszámolás akár az eddigi eredmények segítésével, akár egy új modellel.
- Vizualizáció a szenzor mozgásáról

Köszönöm a figyelmet!