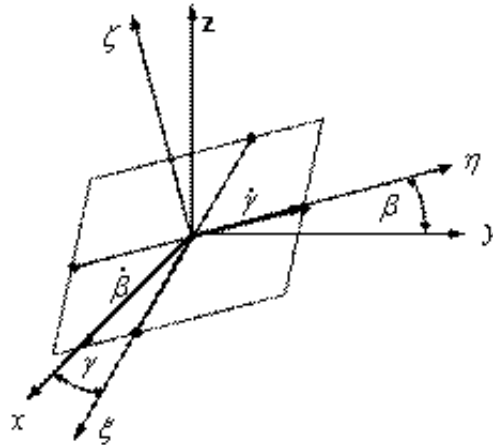


ZÁRT GIROINERCIÁLIS NAVIGÁCIÓS RENDSZEREK DINAMIKÁJA, SZERKEZETI HIBÁI

Zárt giroinerciális navigációs rendszerek dinamikája

A kérdés megvizsgálásához a giroinerciális alapú differenciális mozgásegyenletet állítunk össze. Itt is csak a vízszintesen azimutálisan szabad alapú esetet vizsgáljuk. Ezen eset megvizsgálása után más vízszintes alapú rendszerekre is kiterjeszhetjük. Tételezzük fel, hogy a giroinerciális rendszer vízszintes tengelyei az x és y vízszintesen azimutálisan szabad koordináta-rendszer kis β és γ szögekkel eltérnek (1. ábra).



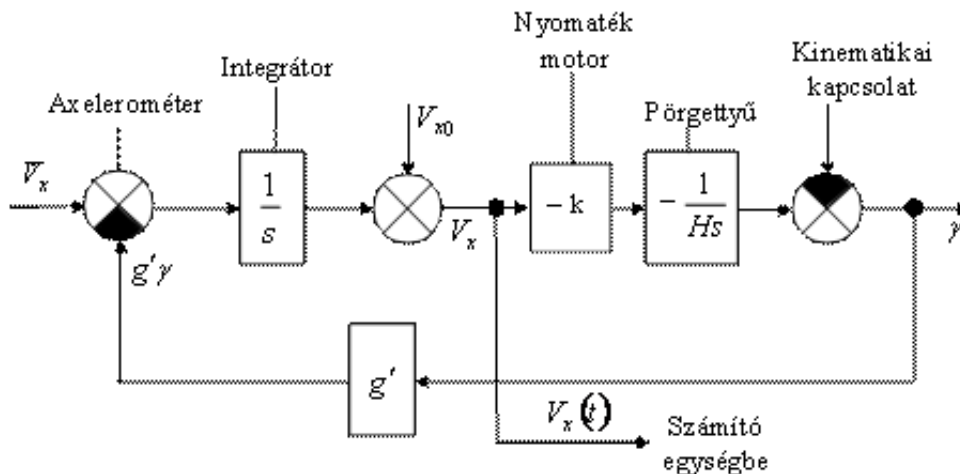
1. ábra

Az x és y vízszintesen azimutálisan szabad koordináta-rendszer kis β és γ szögekre eltérítve [5]
[Szerk.: Dr. Békési Bertold – MS Word]

Az axelerométerek érzékelő tengelyei egybeesnek az alap tengelyeivel ξ és η (1. ábra és 4. ábra). Hasonlóan már a nyitott inerciális navigációs rendszerek egyenletéhez megkapjuk, hogy az axelerométerek jelzései a következő értékekkel rendelkeznek.

$$w_\xi = \dot{V}_x - g'\gamma; w_\eta = \dot{V}_y - g'\beta \quad (1)$$

Csak a ξ tengelyre vizsgáljuk meg és ennek a hatásvázlata a 2. ábrán látható.



2. ábra

Zárt giroinerciális navigációs rendszer hatásvázlata [5]
[Szerk.: Dr. Békési Bertold – MS Word]

A kinematikai kapcsolat (2. ábra) figyelembe veszi a helyi függőleges elfordulását a repülőgép mozgásakor. A kinematikai jelkapcsolat értéke a következő:

$$\frac{1}{R} V_x(t_0)(t - t_0) + \frac{1}{R} \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau_1} \dot{V}_x(\tau) d\tau d\tau_1 \quad (2)$$

Az (1) pörgettyűre (2, 4. ábrák)_a

$$M_1(t) = -kV_x(t) = -k\left(V_{x0} + \int_{t_0}^t w_x(\tau) d\tau\right) \quad (3)$$

$$M_2(t) = -kV_y(t) = -k\left(V_{y0} + \int_{t_0}^t w_y(\tau) d\tau\right) \quad (4)$$

egyenletekkel egyetértve, nyomaték hat.

$$M_1 = -k\left(V_{x0} + \int_{t_0}^t w_x(\tau) d\tau\right) = -k\left(V_{x0} + \int_{t_0}^t [\dot{V}_x(\tau) - g'\gamma(\tau)] d\tau\right) \quad (5)$$

A nyomaték hatására az alap precesszálni kezd a η tengely körül ω_η^a szögsebességgel:

$$\omega_\eta^a = -\frac{M_1}{H} = \frac{k}{H}\left(V_{x0} + \int_{t_0}^t [\dot{V}_x(\tau) - g'\gamma(\tau)] d\tau\right) \quad (6)$$

Figyelembe véve, hogy az alap x tengely körüli szögsebessége

$$\omega_x^a = \omega_\eta^a \cos \gamma \approx \omega_\eta^a \quad (7)$$

és a Schuler feltétel $\frac{k}{H} = \frac{1}{R}$, kapjuk

$$\omega_x^a(t) = \frac{1}{R}\left(V_{x0} + \int_{t_0}^t [\dot{V}_x(\tau) - g'\gamma(\tau)] d\tau\right) \quad (8)$$

A különbség az $\omega_x^a(t)$ és az $\omega_x = \frac{V_x}{R}$ között a $\gamma(t)$ hiba sebesség növekedése következtében

$$\omega_x^a - \frac{V_x}{R} = \dot{\gamma} \quad (9)$$

A (8) és (9) egyenletekből következik, hogy

$$\dot{\gamma} + \frac{V_x}{R} = \frac{V_{x0}}{R} + \frac{1}{R} \int_{t_0}^t [\dot{V}_x(\tau) - g'\gamma(\tau)] d\tau \quad (10)$$

Differenciálva a (10) egyenletet „t” szerint, megkapjuk az alap differenciális mozgásegyenletét a vizsgált giroinerciális rendszerre.

$$\ddot{\gamma} + \frac{g'}{R}\gamma = 0 \quad (11)$$

kezdeti feltételek mellett

$$\dot{\gamma}(t_0) = \frac{\Delta V_{x0}}{R}; \gamma(t_0) = \gamma_0 \quad (12)$$

ahol:

$\Delta V_{x0} = V_{x0} - V_x(t_0)$ — a sebesség kezdeti értékének bevezetési hibája;

γ_0 — az alap vízszintesbe történő beállításának hibája.

Tehát a giroinerciális rendszer alapjának mozgása csillapítatlan lengést képvisel $T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g'}}$ Schuler periódussal és $\dot{\gamma}(t_0) = \frac{\Delta V_{x0}}{R}; \gamma(t_0) = \gamma_0$ kezdeti feltételek esetén.

Megoldva a (10) egyenletet, kapjuk:

$$\gamma(t) = \gamma_0 \cos \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) + \frac{\Delta V_{x0}}{\sqrt{g'R}} \sin \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) \quad (13)$$

A $V_x(t)$ sebesség kiszámításának hibája

$$\begin{aligned} \Delta V_x(t) &= V_{x_0} + \int_{t_0}^t [\dot{V}_x(\tau) - g'\gamma(\tau)] d\tau - V_x(t) = \Delta V_{x_0} - \int_{t_0}^t g'\gamma(\tau) d\tau = \\ &= -\sqrt{g'R}\gamma_0 \sin\sqrt{\frac{g'}{R}}(t-t_0) + \Delta V_{x_0} \cos\sqrt{\frac{g'}{R}}(t-t_0) \end{aligned} \quad (14)$$

Tehát:

A giroinerciális alap mindkét vízszintes csatornában dinamikai tekintetben Schuler-periódusú lengő tag. Az inerciális navigációs rendszer alapja a stabilitás határán lévő rendszer.

Olyan rendszer létrehozása, amelynek saját mozgása asszimptótikusan stabilis, vagyis időben csillapodó, nem lehetséges.

Bármilyen csillapító tag bevezetése a rendszerbe azonnal hibához vezet a koordináták meghatározásában, mivel olyankor a rendszer ballisztikusan zavarhatóvá válik, vagyis dinamikus hibák jelennek meg a repülőgép manőverei közben.

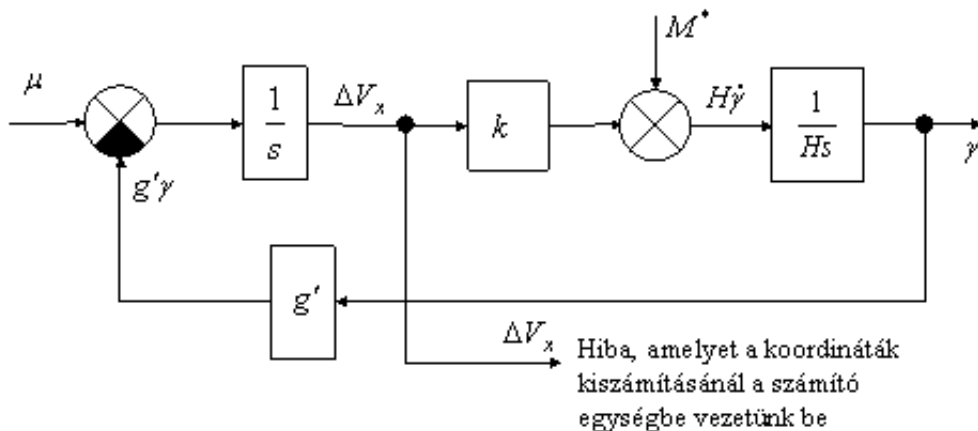
Ahhoz, hogy az inerciális navigációs rendszer saját mozgása asszimptótikusan stabilis legyen és ne rendelkezzen dinamikus hibával a koordináták kiszámításakor, csak akkor lehetséges ha más fedélzeti rendszerek információt juttatnak a rendszerbe a repülőgép mozgásáról.

Zárt vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek szerkezeti hibái

Először megvizsgáljuk, hogy az elemek szerkezeti hibái hogyan hatnak a giroinerciális rendszer hatásvázlatára és a hibáira, amelyek a következők:

- a vízszinteshez képest az alap szögelfordulása;
- a sebesség kiszámításának hibái;
- a mozgó objektum kiszámításának hibái.

Itt csak a pörgettyű elvándorlásából és az integrátorok driftjéből eredő hibák vizsgálatára korlátozódunk. Az előzőekhez képest itt is csak a vízszintes csatornát vizsgáljuk meg. A hibaképződés folyamata a csatornában a következő hatásvázlaton látható (3. ábra).



3. ábra

A hibaképződés folyamatának hatásvázlata [5]
[Szerk.: Dr. Békési Bertold – MS Word]

ahol:

- nyomaték, amely a pörgettyű elvándorlását eredményezi;
- az integrátor driftje.

A 3. ábra a 2. ábrából következik, a bemeneti jel és a kezdeti feltétel jelét kompenzáltnak tekintjük a kinematikai kapcsolattal. A hatásvázlatból a következő egyenlet következik:

$$H\dot{\gamma} = M^* + k \int_{t_0}^t (\mu - g'\gamma) d\tau \quad (15)$$

Ez az egyenlet írja le a hibaképződés folyamatának dinamikáját. Ha feltételezzük, hogy μ és g' állandóak az időben.

$t = t_0$ feltétel mellett a (15) egyenletből kapjuk

$$H\dot{\gamma} = M^* \quad (16)$$

Ha differenciáljuk a (15) egyenletet az időben a Schuler-feltétel segítségével, akkor a következő differenciál egyenletet kapjuk:

$$\begin{aligned} \ddot{\gamma} + \frac{g'}{R}\gamma &= \frac{\mu}{R} \\ \dot{\gamma}(t_0) &= \frac{M^*}{H} = \omega^* \\ \gamma(t_0) &= 0 \end{aligned} \quad (17)$$

ahol: - a pörgettyű elvándorlásának szögsebessége

A (17) differenciál egyenlet megoldása a kezdeti feltételek mellett:

$$\gamma(t) = \omega^* \sqrt{\frac{R}{g'}} \sin \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) + \frac{\mu}{g'} \left[1 - \cos \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) \right] \quad (18)$$

Ebben az esetben a 3. ábrából kapjuk, hogy a hiba

$$\begin{aligned} \Delta V_x(t) &= \int_{t_0}^t (-g'\gamma + \mu) d\tau = - \int_{t_0}^t g' \omega^* \sqrt{\frac{R}{g'}} \sin \sqrt{\frac{g'}{R}}(\tau - t_0) d\tau + \int_{t_0}^t \mu \cos \sqrt{\frac{g'}{R}}(\tau - t_0) d\tau = \\ &= \omega^* R \left\{ \cos \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) - 1 \right\} + \mu \sqrt{\frac{R}{g'}} \sin \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) \end{aligned} \quad (19)$$

A (19) kifejezésből kapjuk a repülőgép meghatározási koordinátájának hibáját az x tengely mentén:

$$\Delta x(t) = \int_{t_0}^t \Delta V_x(\tau) d\tau = \omega^* R \left\{ \sqrt{\frac{R}{g'}} \sin \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) - (t - t_0) \right\} + \mu \frac{R}{g'} \left[1 - \cos \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) \right] \quad (20)$$

Tehát a m integrátor állandó driftje állandó és lengő hibákat eredményez az alap helyzetében a vízszinteshez képest (17), az objektum koordinátáinak kiszámításában (19), a mozgó objektum sebességének meghatározásában (18). A pörgettyű állandó elvándorlása lengő hibát eredményez az alap helyzetében (20) és a hiba állandó összetevőjének megjelenéséhez vezet a sebesség meghatározásában (18) és a hiba lineárisan növekvő összetevőjében és a mozgó objektum koordinátáinak meghatározásában (19).

Ha az időben a hiba növekedését összehasonlítjuk a zárt és nyitott inerciális navigációs rendszereknél, akkor rögtön érthető lesz a zárt inerciális navigációs rendszerek előnye. Valóban a zárt inerciális navigációs rendszerek hibája a koordináta megállapításánál, amely a pörgettyű elvándorlását eredményezi, lineárisan változik az időben, a nyitott inerciális navigációs rendszereknél ugyanazon feltételek mellett (a pörgettyű állandó elvándorlása - az alapok stabilizátorjai) az idő köbével arányos. Meghatározzuk a korrelációs mátrixot

$$B(t_1, t_2) = M\delta(t_1) \times \delta^T(t_2) \quad (21)$$

ahol: - a matematikai teljes valószínűség jele
- a mátrix transzponáltjának a jele

A hiba vektorát

$$\delta(t) = (\gamma(t), \Delta V_x(t), \Delta x(t))^T \quad (22)$$

Feltételezzük, hogy a és zavaró hatások az időben állandó véletlen vektort eredményeznek nulla matematikai teljes valószínűséggel és korrelációs mátrixal

$$B^* = Mff^T = \begin{bmatrix} \sigma_\mu^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\omega^*}^2 \end{bmatrix} \quad (23)$$

ahol: \int - az integrátor és a pörgettyű elvándorlás szórásnégyzetének driftje (elsodródása)

A hiba vektor összhangban a (17), (18) és (19) a zavaró vektoron keresztül lineárisan kifejezhető:

$$\delta(t) = A(t)f \quad (24)$$

ahol a mátrix

$$A(t) = \begin{bmatrix} \frac{1}{g'} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) \right); & \sqrt{\frac{R}{g'}} \sin \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) \\ \sqrt{\frac{R}{g'}} \sin \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0); & R \left(\cos \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) - 1 \right) \\ \frac{R}{g'} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) \right); & 0 \\ 0 & R \sqrt{\frac{R}{g'}} \sin \sqrt{\frac{g'}{R}}(t - t_0) - R(t - t_0) \end{bmatrix} \quad (25)$$

Ebben az esetben kapjuk

$$B(t_1, t_2) = M\delta(t_1) \times \delta^T(t_2) = MA(t_1)f[A(t_2)f]^T = MA(t_1)ff^T A^T(t_2) = A(t_1)B^*A^T(t_2) \quad (26)$$

Ha a korrelációs mátrixban a $B(t_1, t_2)$, akkor a hiba kovariáns mátrixát kapjuk $B(t_1, t_2)$, amelyek diagonális elemei (tagjai) a hiba szórásnégyzete lesz. Érthető, hogy ezek a szórásnégyzetek a t idő függvényei lesznek, tehát az inerciális rendszer hibái véletlen nemstacionárius (helyhez kötött) folyamat.

Zárt giroinerciális navigációs rendszerek vízszintes földrajzi alappal

Az inerciális rendszernek ez a típusa elméletileg nem különbözik a fentebb vizsgált vízszintes azimutálisan szabad alapú giroinerciális navigációs rendszertől.

Az alap vízszinteségének feltételei, hasonlóak a Repüléstudományi Közlemények 2009/1 számában megjelent „Zárt vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” cikk (1) és (2) feltételeknek, ebben az esetben [lásd a Repüléstudományi Közlemények 2008/3 számában megjelent Inerciális navigációs rendszerek II. cikk 22 egyenletét)] a következő alakot veszik fel

$$\omega_x(t) = \frac{V_E(t)}{R} \quad (27)$$

$$\omega_y(t) = \frac{V_N(t)}{R} \quad (28)$$

ahol: $V_E = -V_y$ és $V_N = V_x$ - az objektum abszolút sebességének keleti és északi összetevői.

A (27) és (28) feltételek megvalósítása, az 1 és 5 (2.ábra) vízszintes pörgettyű házának függőleges tengelyeire M_1 és M_2 nyomatékokat helyezünk, amelyek a $V_N = V_x$ és $V_E = -V_y$ sebességekkel arányosak. Akkor figyelembe véve egyenleteket és a hatásvázlatot, kapjuk

$$M_1(t) = -kV_N(t) = -k \int_{t_0}^t \left[a_x(\tau) - \frac{V_E^2(\tau)}{R} \tan \varphi(\tau) \right] d\tau \quad (29)$$

$$M_2(t) = kV_E(t) = \left\{ R\omega_F \cos \varphi_0 + \int_{t_0}^t \left[-a_y(\tau) + \frac{V_E(\tau)V_N(\tau)}{R} \tan \varphi(\tau) \right] d\tau \right\} \quad (30)$$

Egyértelmű, hogy ebben az esetben a jeleket integrálni, amelyeket az axelerométerektől kapunk, tilos.

Először az axelerométerek mutatásaiból ki kell vonni a $\frac{V_E^2}{R} \tan \varphi$ és $\frac{V_E V_N}{R} \tan \varphi$ módszeres hibákat, amelyek az objektum koordinátáinak és sebességeinek elég bonyolult összefüggései.

A „módszeres hibák” kompenzálásának mechanizmusa nagy hátránya a földrajzi alapú inerciális rendszereknek az azimutálisan szabad alapú inerciális rendszerekkel szemben.

A feladat, hogy az inerciális navigációs rendszerek működési stabilitásának elemzésekor a kompenzáló mechanizmust figyelembe vegyük igen nehéznek tűnik és ezt itt nem fogjuk megvizsgálni. Továbbá a stabilitás elemzése a kompenzáló mechanizmus figyelembe vétele nélkül mint látható a fentebb vizsgált dinamikai inerciális kontúrral vezethető le, amely a 2. ábrán látható.

Végezetül ebben az esetben az iránypörgettyű nem azimutálisan szabad, hanem az irányszögrendszerből olyan módon helyesbitődik, hogy az ő tengelyének alakja mindig a meridián síkjában van elhelyezve.

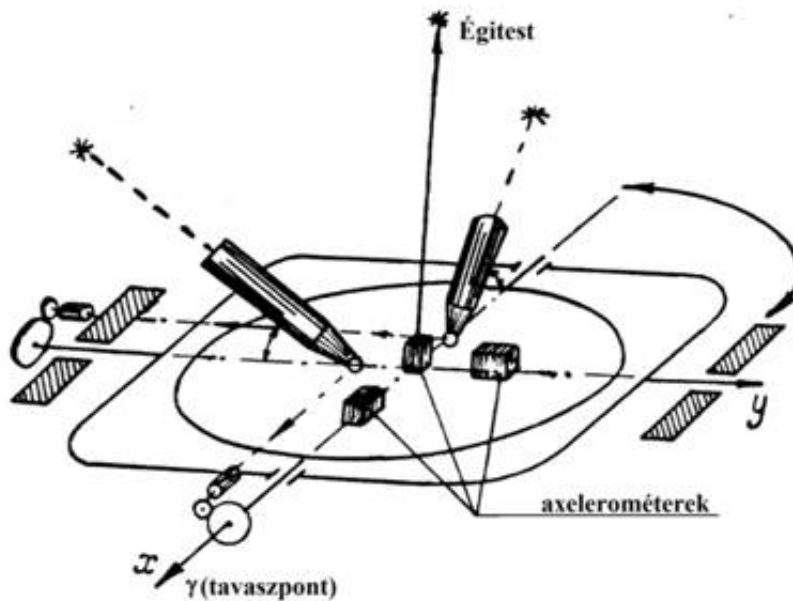
Asztroinerciális navigációs rendszerek

Két típust vizsgálunk meg:

- az inerciális térben változatlan helyzetű nem forgó alappal;
- vízszintes alappal.

Két teleszkóp segítségével, amelyek a csillagok felé vannak irányítva (4. ábra) az alappal, amelyen 3 darab axelerométer található, amely úgy van stabilizálva, hogy az egyik tengely érzékenysége a világtengely (z tengely) felé van irányítva, a másik - a γ tavaszpontba (x tengely) és a harmadik - az első kettőre merőlegesen (y tengely). Ilyen típusú alapot már vizsgáltunk a Repüléstudományi Közlemények 2008/3 számában megjelent Inerciális navigációs rendszerek II. cikkben. Ha most ezeknek az axelerométereknek a mutatását bevezetjük a 4. ábra [5] bemenetére, amelyek saját

frekvenciája egyenlő a Schuler frekvenciával $\sqrt{\frac{g}{R}}$, akkor ezeknek a tagoknak a kimenetén $R_x(t), R_y(t), R_z(t)$ rádusz vektor pillanatnyi koordinátáit kapjuk meg.



4. ábra

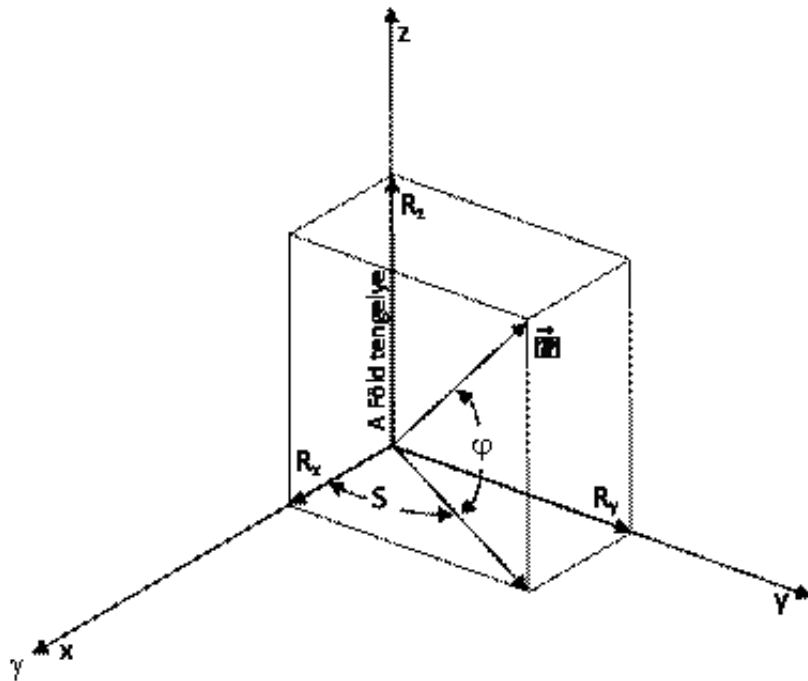
A feladat most abból áll, hogy a rádusz-vektor mentén

$$\bar{R}(t) = iR_x(t) + jR_y(t) + kR_z(t) \quad (31)$$

adott nem forgó koordináta rendszerben, kiszámítani a földrajzi illetve minden másfajta koordinátát, amelyet a repülőgép gyakorlati navigációjában alkalmaznak.

Az XYZ koordináta rendszer tengelyei párhuzamosak az $X_i Y_i Z_i$ inerciális rendszer tengelyeivel, amelyek középpontja a Föld középpontjában helyezkedik el. Ilyen esetben a szögek, amelyet az $\bar{R}(t)$ vektor hoz létre $X_i Y_i Z_i$ koordináta rendszer tengelyeivel, egyenlő az $\bar{R}(t)$ vektor és az XYZ koordináta rendszer tengelyeinek megfelelő szögei között.

Vizsgáljuk meg az $\bar{R}(t)$ szöghelyzetét az inerciális koordináta rendszerhez $X_i Y_i Z_i$ képest. (5. ábra)



5. ábra

Az 5. ábrából következik, hogy a repülőgép helyi csillagideje egyenlő:

$$S = \arctan \frac{R_y}{R_x} = S_{gr} + \lambda \quad (32)$$

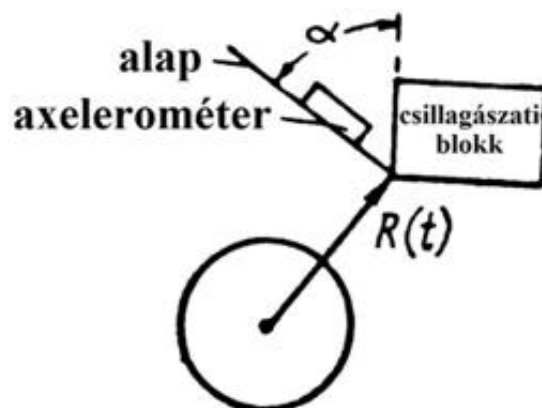
és a hely szélessége

$$\varphi = \arcsin \frac{R_z}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}} \quad (33)$$

Tehát a repülőgép fedélzetén lévő kronométer (időmérő, pontos óra), amelynek segítségével meghatározható a grinvichi csillagidő S_{gr} , az R_x, R_y, R_z rádiusz vektor koordináták alapján lehet meghatározni a φ és λ földrajzi koordinátákat. Tehát most megvizsgáltuk a zárt asztroinerciális navigációs rendszer működési elvét az inerciális térhez képest nem forgó alappal.

Most röviden vizsgáljuk meg a zárt asztroinerciális navigációs rendszer működési elvét vízszintes alappal.

A két teleszkóp segítségével (6. ábra) a csillagászati blokk stabilizálva van az inerciális térhez képest. Az alap, amelyen az axelerométerek vannak elhelyezve a csillagászati blokkhoz képest elfordulhat. Csak az egyik csatornát vizsgáljuk meg itt is (6. ábra) [5].



6. ábra

Az axelerométer a vízszintes síkban helyezkedik el. Ha a kezdeti időpillanatban az alap vízszintes helyzetű, akkor az alap elfordulási szögét (α) az axelerométer jelének kétszeres integrálása után kapott jellel arányosan helyesbítve és figyelembe véve az alap α_0 kezdeti szögét és a \dot{V}_0 kezdeti

sebességet, az arányossági tényezőt pedig $k = \frac{1}{R}$ értékére választva az alap az axelerométerrel minden időben vízszintes marad, az objektum bármilyen törvényszerű mozgása esetén. Tehát az alap ballisztikusan nem lesz zavarható. Valójában, ebben az esetben kapjuk:

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \frac{\dot{v}_0}{R}(t - t_0) + \frac{1}{R} \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau_1} w(\tau) d\tau d\tau_1 = \alpha_0 + \frac{\dot{v}_0}{R}(t - t_0) + \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau_1} [\dot{V}(\tau) - g'\gamma(\tau)] d\tau d\tau_1 \quad (34)$$

ahol:

$w(t)$ - az axelerométer mutatása

$\gamma(t)$ - az alap eltérési szöge a vízszintes síkhoz képest (az alap szöghelyzetében hiba)

Figyelembe véve a 6. ábrából $\alpha(t)$ szög egyenlő:

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \frac{S}{R} + \gamma(t) = \alpha_0 + \frac{\dot{v}_0}{R}(t - t_0) + \frac{1}{R} \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau_1} \dot{V}(\tau) d\tau d\tau_1 = \frac{1}{R} \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau_1} [-g'\gamma(\tau)] d\tau d\tau_1 \quad (35)$$

és hogy

$$\frac{S}{R} = \frac{1}{R} \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau_1} \dot{V}_0(\tau) d\tau d\tau_1 + \frac{\dot{v}_0}{R}(t - t_0) \quad (36)$$

a repülőgép elmozdulásának szöge a mozgás vizsgált síkjában, akkor az (35) kapjuk $k = \frac{1}{R}$ esetén

$$\gamma(t) = -\frac{1}{R} \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau_1} g'\gamma(\tau) d\tau d\tau_1 \quad (37)$$

Kétszeres differenciálás után az idő szerint az (37) egyenletből kapjuk:

$$\ddot{\gamma}(t) + \frac{g}{R}\gamma(t) = 0 \quad (38)$$

A (38) egyenletből következik, hogy dinamikailag a zárt asztroinerciális navigációs rendszer vízszintes alappal egy lengő tagot eredményez, amelynek a saját frekvenciája egyenlő a Schuler periódusával.

A $k = \frac{1}{R}$ lesz a Schuler-feltétel az adott asztroinerciális rendszerre.

Ha az alap kezdeti eltérése elég kicsi lenne, akkor a továbbiakban az eltérés ezen értéke a szerkezeti hibák figyelembe vétele nélkül ne fogja meghaladni a kezdetit. Az axelerométer mutatását integrálva a kezdeti feltételek figyelembe vételével, megkapjuk a repülőgép sebességét a vizsgált mozgási síkban. A repülőgép sebességét integrálva, a kezdeti feltételek figyelembe vételével megkapjuk a koordinátáit. Az asztroinerciális rendszerek hibái a giroinerciális rendszer hibáihoz képest az idővel nem nőnek. Ez abból következik, hogy a teleszkópos rendszer, amely megvalósítja az inerciális koordináta rendszert, hibával rendelkezik, amely az idővel nem nő, nem úgy mint a pörgettyús rendszer, amely egy meghatározott koordináta rendszert határoz meg, amely a pörgettyű driftje miatt nem folyamatosan fordul el, vagyis hibával rendelkezik - az idővel arányosan nő. A fentebb említett elv nagy előnye az asztroinerciális rendszereknek.

Repüléstudományi Közlemények 2009/1 számában megjelent „Zárt vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” cikk 4. ábrája.

Repüléstudományi Konferencia 2009 Szolnok 50 év hangsebesség felett a Magyar légtérben megjelent „Nytott vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” cikk 12 és 13 egyenletei.

A repüléstudományi Közlemények 2009/1 számában megjelent „Zárt vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” cikk 2 és 4. ábrája alapján

lásd a Repüléstudományi Közlemények 2008/3 számában megjelent Inerciális navigációs rendszerek II. cikk 20 egyenletét.

a Repüléstudományi Közlemények 2009/1 számában megjelent „Zárt vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” cikk 2. és 4. ábrái alapján.

a Repüléstudományi Közlemények 2009/1 számában megjelent „Zárt vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” cikk 4 és 5 egyenleteket.

a Repüléstudományi Konferencia 2009 Szolnok 50 év hangsebesség felett a Magyar légtérben megjelent „Nytott vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” cikk 3. ábráját.

a Repüléstudományi Közlemények 2009/1 számában megjelent „Zárt vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek” cikk 4. ábrája.

lásd a Repüléstudományi Közlemények 2008/2 számában megjelent Inerciális navigációs rendszerek I. cikket

Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Békési Bertold: Inerciális navigációs rendszerek I. Repüléstudományi Közlemények On-line folyóirat, Szolnok, 2008/2 szám. HU ISSN 1789-770X
- [2] Dr. Békési Bertold: Inerciális navigációs rendszerek II. Repüléstudományi Közlemények On-line folyóirat, Szolnok, 2008/3 szám. HU ISSN 1789-770X
- [3] Dr. Békési Bertold: Zárt vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek. Repüléstudományi Közlemények On-line folyóirat, Szolnok, 2009/1 szám. HU ISSN 1789-770X
- [4] Dr. Békési B. — Dr. Szegedi P. Nyitott vízszintes alapú inerciális navigációs rendszerek. Repüléstudományi Közlemények különszám, Szolnok, 2009. április 24. (CD-ROM).
- [5] В. А. Вериго, Ф. С. Гергель: Пилотажно-навигационные приборы и измерительные системы. Ленинградская Краснознаменная военно-воздушная инженерная академия имени А. Ф. Можайского, Ленинград, 1959.

[Vissza a tartalomhoz >>>](#)