

Dr. Békési Bertold

HELYMEGHATÁROZÁS A MEGTETT ÚT SZÁMÍTÁSÁVAL

A navigáció alapvető feladata valamely objektum vagy egy pontja helyének (koordinátájának) meghatározása — például tömegközéppontjának — egy adott koordinátarendszerben. A navigációs rendszer sokszor a koordináták időbeni változását (sebességét) is számítja vagy a koordinátarendszerben egyéb más az objektum elhelyezkedését jellemző paramétert érzékel.

A navigációs módszerek az elsődleges navigációs paraméterek mérésének és számítási műveleteknek az összessége, amelyek lehetővé teszik a repülőgép pillanatnyi tartózkodási helyének és a sebességvektor összetevőinek meghatározását a kiválasztott koordinátarendszerekben.

A navigációs módszerek kiválasztásánál és használatakor igyekeznek biztosítani a repülőszerkezet vezetését a legnagyobb pontossággal az útvonalon azzal a céllal, hogy rávezessék a hely és idő szerint az adott objektumra (célra) és a repülőtér leszállópályájára.

A navigációra különböző technikai eszközöket alkalmaznak, amelyek magukba foglalják a fedélzeti navigációs műszereket és a földi berendezéseket, valamint a számítógépeket, térképeket, mérő eszközöket és tájékoztató segédeszközöket.

- Az elsődleges információk mérési módszere alapján a következő navigációs berendezéseket különböztetjük meg:
 - geotechnikai — a Föld természetes (földrajzi) mezőinek (mágneses, gravitációs, az atmoszféra aerológiai (légtani) mezői és így tovább) jellemzőit mérve kerülnek meghatározásra;
 - inerciális — a repülőszerkezet inerciális térbeli gyorsulásainak mérésén alapszik;
 - rádiótechnikai — az elektromágneses jelek földi vagy fedélzeti sugárzók paraméter mérésén alapszik;
 - fénytechnikai — a földi vagy fedélzeti fényforrások jeleit használja fel;
 - csillagászati — az égitestek sugárzási paramétereinek mérésén alapszik.
- A külső környezettel való kapcsolat alapján a navigációs módszerek lehetnek:
 - autonóm — az elsődleges navigációs információt a fedélzeti berendezések szolgáltatják, speciális földi berendezések használata nélkül;
 - ehhez alkalmazzák a geotechnikai, inerciális, csillagászati valamint némely rádiótechnikai (például Doppler-elvű) elsődleges navigációs módszerek mérési paramétereit. Az autonóm navigációs módszereket a repülési útvonalak bármilyen távolsága esetén használhatják;
 - nem autonóm — az információt a külső rádiótechnikai és fénytechnikai földi és fedélzeti rendszerek használják fel,

- vegyes — az autonóm és nem autonóm navigációs paraméterek együttes használatának mérésén alapszik.

Általában a repülőszervezeteken a navigációs módszerek összességét használják, amelyek biztosítják a szükséges navigációs többletinformációkat. Ez a többlet a pontosság, a zavarvédetség, a navigációs mérések megbízhatóságának és biztonságának növelésére szolgál.

Minden ismert navigációs módszert a tartózkodási hely koordinátáinak meghatározási módjától függően három csoportra oszthatjuk:

- megtett út számítása alapján;
- navigációs mezők számítása alapján;
- képösszehasonlító helymeghatározás alapján.

A tartózkodási hely koordinátái a mért sebességek vagy gyorsulások idő szerinti integrálása útján kerülnek meghatározásra.

Az útszámítást aerometrikus, Doppler-elvű vagy inerciális navigációs mérési módszerek alapján valósítják meg.

ÚTSZÁMÍTÁS A REPÜLÉSI PARAMÉTEREK FELHASZNÁLÁSÁVAL

Ennél a módszernél az útszámítás a valós repülési sebesség vektorának a Földhöz rögzített koordináta rendszer tengelyeire eső összetevői meghatározásán alapul. Ezeket az összetevőket idő szerint integrálva a tartózkodási hely meghatározható.

A számításokhoz az elsődleges navigációs jellemzőket használjuk fel, melyek mérése aerometrikus úton történik. Az elsődleges navigációs jellemzők a következők:

V — valóságos repülési sebesség

β — csúszásszög

γ — bedöntési szög

V_v — vízszintes repülési sebesség

t — repülési idő

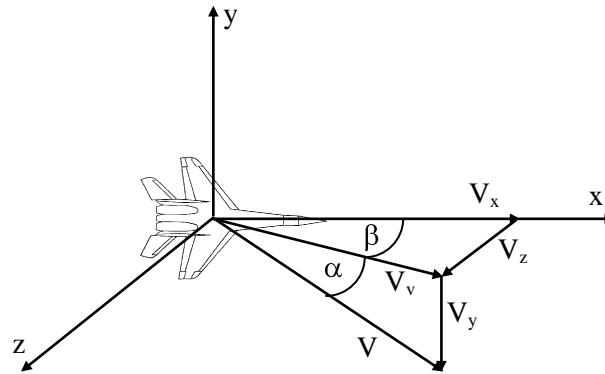
α — a repülőgép állásszöge

ϑ — bólintási szög

ψ_v — valós irányyszög

H — repülési magasság

A \vec{V} vektor helyzetét a repülőgéphez rögzített (vagy „test”) koordináta rendszerhez viszonyítva (x, y, z) az α és β szögek határozzák meg (1. ábra).



1. ábra. A repülési sebesség vektor tengelyek menti összetevői

Az 1. ábra alapján a repülési sebesség vektor tengelyek menti összetevőit a következő egyenletek határozzák meg:

$$\begin{aligned} V_x &= V_v \cos \beta = V \cos \alpha \cos \beta \\ V_y &= -V \sin \alpha \\ V_z &= V_v \sin \beta = V \cos \alpha \sin \beta \end{aligned} \quad (1)$$

ahol:

$$V_v = V \cos \alpha$$

α — a repülőgép állásszöge

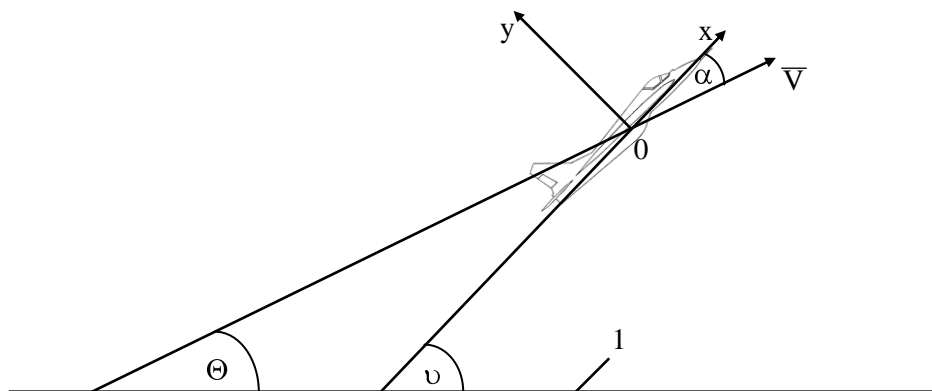
β — a csúszásszög

A repülési sebesség vízszintes összetevője a repülőgép pályahajlásszögének ismeretében meghatározható (2. ábra). [1, 2]

A 2. ábra alapján a vízszintes repülési sebesség összetevő a következő alakban írható fel:

$$V_v = V \cos \Theta = \frac{V_x \cos \Theta}{\cos \alpha \cos \beta} \quad (2)$$

ahol: Θ — a pálya hajlásszöge



2. ábra. A repülési sebesség vízszintes összetevőjének meghatározása a repülőgép pályahajlásszögének ismeretében

Mivel a navigációs feladatot a földfelszínhez viszonyítva valósítják meg, így át kell térni a vízszintes földrajzi koordináta rendszerbe. A földrajzi koordináta rendszer tengelyei a következők:

ξ — északi irányba mutat;

η — függőleges irányú, merőleges a ξ, ζ tengelyek síkjaira,

ζ — keleti irányba mutat.

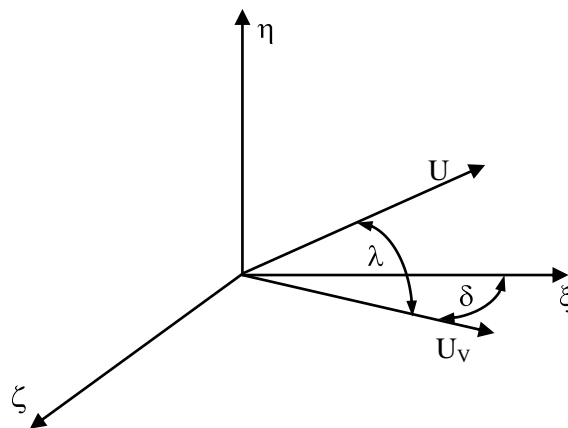
A ξ, η, ζ tengelyek mentén meghatározzuk a sebesség összetevőit:

$$\begin{aligned} V_{\xi} &= V_v \cos \psi = V \cos \Theta \cos \psi \\ V_{\eta} &= V \sin \Theta \\ V_{\zeta} &= V_v \sin \psi = V \cos \Theta \sin \psi \end{aligned} \quad (3)$$

A földfelszínhez viszonyított valós repülési sebességnél figyelembe kell venni a szélesebesség vektort is. A repülőgép Föld feletti repülési sebesség vektora a repülési sebesség vektor és a szélesebesség vektor összegeként írható fel:

$$\bar{W} = \bar{V} + \bar{U} \quad (4)$$

Ábrázoljuk a szélesebesség vektort a 3. ábra alapján.



3. ábra. A szélesebesség vektor összetevői

Írjuk fel a koordinátarendszer tengelyeire eső összetevőit:

$$\begin{aligned} U_{\xi} &= U_v \cos \delta = U \cos \chi \cos \delta \\ U_{\eta} &= U \sin \chi \\ U_{\zeta} &= U_v \sin \delta = U \cos \chi \sin \delta \end{aligned} \quad (5)$$

ahol: $U_v = U \cos \chi$

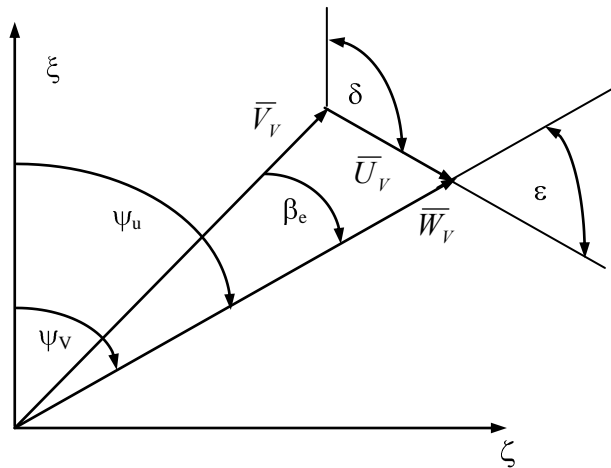
Az (1.2) és az (1.4) egyenleteket behelyettesítve az (1.3) egyenletbe, megkapjuk a Föld feletti repülési sebesség vektor összetevőit.

$$\begin{aligned}
W_{\xi} &= V_{\xi} + U_{\xi} = V_v \cos \psi + U_v \cos \delta \\
W_{\eta} &= V_{\eta} + U_{\eta} = V \sin \Theta + U \sin \chi \\
W_{\zeta} &= V_{\zeta} + U_{\zeta} = V_v \sin \psi + U_v \sin \delta
\end{aligned}
\tag{6}$$

A három vektor vízszintes összetevői által meghatározott háromszöget navigációs háromszögnek nevezzük (4. ábra).

Ahol:

- β_e — elsodrési szög
- ψ_u — útvonalszög
- ε — szélszög
- ψ_v — valós irányyszög



4. ábra. A navigációs háromszög összetevői

A repülőgép tartózkodási helyét a \vec{W} integrálásával határozzuk meg:

$$\begin{aligned}
S_{\xi} &= S_{0\xi} + \int_0^t W_{\xi} dt \\
S_{\eta} &= S_{0\eta} + \int_0^t W_{\eta} dt \\
S_{\zeta} &= S_{0\zeta} + \int_0^t W_{\zeta} dt
\end{aligned}
\tag{7}$$

Ahol:

- $S_{0\xi}, S_{0\eta}, S_{0\zeta}$ — kezdeti érték;
- S_{η} — barometrikus, rádió vagy egyéb magasságmérő segítségével határozható meg.

A helymeghatározás koordinátáit megkaphatjuk más koordináták által is. A függőleges koordináta S_n általában nem a megtett út számításával történik, hanem a barometrikus, rádiótechnikai vagy optikai magasságmérő segítségével.

Az útszámítás a repülési paraméterek felhasználásával teljesen autonóm navigációs módszer, a sebesség vektor mérése és integrálása alapján. A szélesebbesség megadható a rádió a földi állomásokról (nem autonóm mérési módszer) vagy mérhető repülés közben a fedélzeti rádiótechnikai vagy optikai módszerekkel a földi rádió és optikai eszközök (autonóm mérési módszer) használata nélkül. (Tehát a szélesebbesség értéke jöhet kívülről, de lehet pl. lokátorral is mérni.)

DOPPLER-ELVŰ ÚTSZÁMÍTÁS

A Doppler-radar, mint fedélzeti berendezés az ötvenes évek végén került a katonai, majd a hatvanas évek elején a polgári repülőgépek fedélzetére. A radarberendezés önmagában elsődlegesen az alábbi feladatok megoldására alkalmas:

- föld feletti sebesség;
- széleltérítés szöge;
- a repülőgép állásszöge;
- a repülési magasság mérésére.

A polgári repülőgépeken az első két feladatot, tehát a föld feletti sebesség és a széleltérítés kijelzésére alkalmas radarberendezéseket találunk. A radarberendezés kiegészítve megfelelő számító és kijelző berendezésekkel, önálló fedélzeti navigációs rendszert is alkot.

A Doppler-radar működési elve

A berendezés, mint neve is utal rá a Doppler jelenség alkalmazásán épül fel. Christian Doppler (1803—1853) osztrák fizikus már a XIX. század első felében felfedezte és vizsgálta azt a jelenséget, amely általánosan ismertté vált, vagyis ha egy jármű gyorsan közeledik a megfigyelőhöz, zajának hangmagassága — tehát hangfrekvenciája — nő, ha távolodik, mélyebbé válik, vagyis frekvenciája csökken.

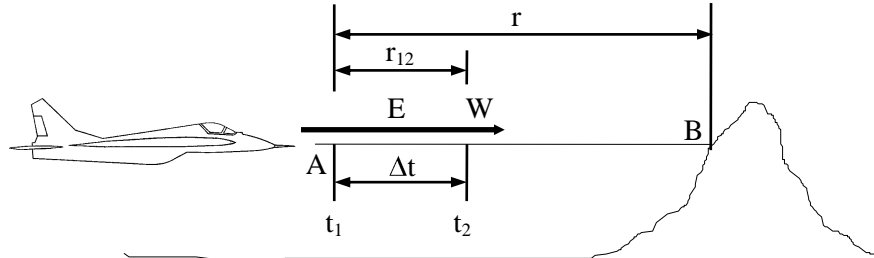
A Doppler útszámítás módszerének alapja a következő: az útsebesség információjának és az elsodródási szög β_e értékének használata, amelyet a DISzSz-től¹ kapunk. Az ilyen mérő működése a Doppler hatáson alapszik.

A Doppler hatás lényege a fedélzeti Doppler-radar üzemében az, hogy a földről visszavert energia frekvenciája a fedélzeti adó által kisugárzott energia frekvenciájához képest a repülőgép mozgása miatt megváltozik.

A Doppler effektus (hatás) magyarázatához megvizsgálhatjuk a repülőgép mozgását a fedélzetén elhelyezett rádiolokációs állomással, amely tartalmaz egy állandó frekvenciájú rádióadót és vevőt. Vala-

¹ Doppler sebesség és elsodródási szögmérő

mely t_1 időpillanatban a repülőgép az A pontban helyezkedik el és W sebességgel a B pont irányába mozog (5. ábra). A rádiólokátor hanghullámokat sugároz a B pontba, ahol a nem mozgó tárgy található, amely visszaveri ezen hullámokat. A távolság az A ponttól a B pontig egyenlő „ r ”-rel.



5. ábra. A Doppler effektus vízszintes irányú kisugárzás esetén

A rádiólokátor által a t_1 időpillanatban kisugárzott f_0 frekvenciájú hullám éri el a B pontot T_1 időpillanatban:

$$T_1 = t_1 + \frac{r}{c} \quad (8)$$

ahol:

c — a rádióhullámok terjedési sebessége

A Δt idő elteltével a repülőgép az E pontba jut. A rádióadó a Δt idő alatt n ciklusú rezgéseket sugároz. Ez a szám $n = f_0 \Delta t$.

A B pontban a rezgés frekvenciája f_B különbözik az A pont f_0 frekvenciájától. Ennek értéke:

$$f_B = \frac{c}{c - W} f_0 \quad (9)$$

A B pontot vehetjük f_B frekvenciájú hangforrásának. Akkor a repülőgépről kisugárzott és a B ponthoz W sebességgel közeledő hanghullám f_A frekvenciája egyenlő:

$$f_A = \frac{c + W}{c} f_B \quad (10)$$

A vett hullámok frekvenciája különbözik a kisugárzott hullámok f_0 frekvenciájától a Doppler frekvencia értékével.

$$\begin{aligned} F_D = f_A - f_0 &= \frac{c + W}{c} f_B - f_0 = \frac{c + W}{c} \frac{c}{c - W} f_0 - f_0 = \\ &= \frac{c + W}{c - W} f_0 - f_0 = \frac{c + W - c + W}{c - W} f_0 = \frac{2W}{c - W} f_0 \end{aligned}$$

de $c \gg W$, ezért $c - W \approx c$ és következésképpen

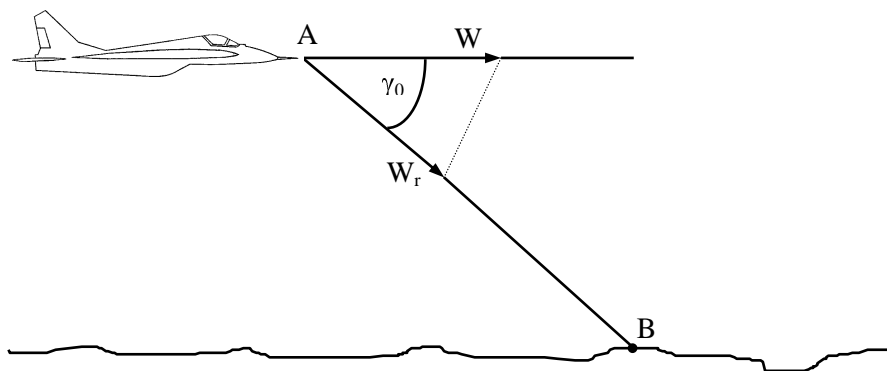
$$F_D = \frac{2W}{c} f_0 = \frac{2W}{\lambda} \quad (11)$$

ahol:

$$\lambda = \frac{c}{f_0} \text{ — a kisugárzott rezgések hullámhossza}$$

Ha a repülőgépet eltávolítjuk a B ponttól, akkor az f_0 frekvencia $F_D = -\frac{2W}{\lambda}$ értékével csökken.

Általános esetben a repülés pályája és az útsebesség W nem biztos, hogy egybeesik az AB rezgések kisugárzásának irányával (6. ábra).



6. ábra. A Doppler effektus kisugárzás a vízszintestől való elhajlás esetén

Ha a szög γ_D a W irány és az AB vonal között van, akkor az (11) egyenlet alapján figyelembe vesszük az útsebesség összetevőjének irányát az A -tól a B felé, vagyis

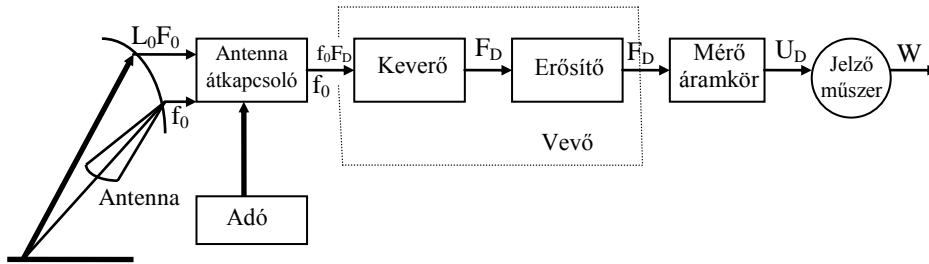
$$W_r = W \cos \gamma_D = W \cos(\psi + \beta_e) \quad (12)$$

Ezért a Doppler frekvencia képlete a következő alakban írható fel:

$$F_D = \frac{2W}{\lambda} \cos \gamma_D \quad (13)$$

Tehát az adó kisugárzott frekvenciájának f_0 változása, az F_D Doppler frekvencia értékével, amely arányos a repülőgép W útsebességével és függ a γ_D -től ($\psi + \beta_e$) az útsebesség vektorától és a rádiólokátor antenna kisugárzásának irányától.

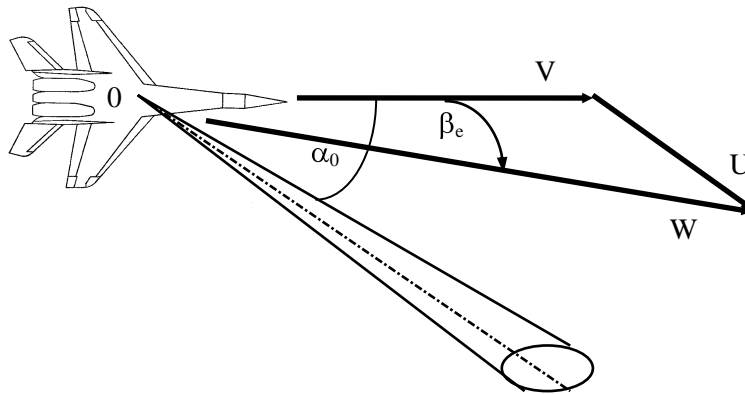
A legegyszerűbb Doppler-mérő, amelynek antennája egy nyalábot hoz létre (7. ábra), áll az adóból, antenna átkapcsolóból, antennából, vevőből, mérő áramkörökből és műszer mutatóból (jelzőműszerből).



7. ábra. Az útsebesség meghatározásához a legegyszerűbb Doppler-mérő

Az adó magas (f_0) frekvenciájú folyamatos rezgéseket generál, amelyeket antenna sugároz a föld irányába. A földről visszavert lengéseket $f_0 + F_D$ frekvenciával az antenna fogadja és az antenna átkapcsolón keresztül a keverőbe kerül. Azon kívül a keverőbe a kisugárzott jelek f_0 frekvenciája is bekerül. A keverőben kiválasztódik a különbségi Doppler frekvencia F_D feszültsége. Az erősítés után az erősítőben ez a feszültség a mérő áramkörbe kerül. A mérő áramkör kimenetéről az útsebesség jelzőműszerére kerül az U_D feszültség, amely a Doppler frekvenciával F_D arányos.

Vízszintes repülés esetén V valódi sebességgel az oldalirányú szél hatásával a \vec{W} útsebesség vektor a \vec{V} vektorhoz képest el van fordulva β_e elsodródási szöggel (8. ábra).

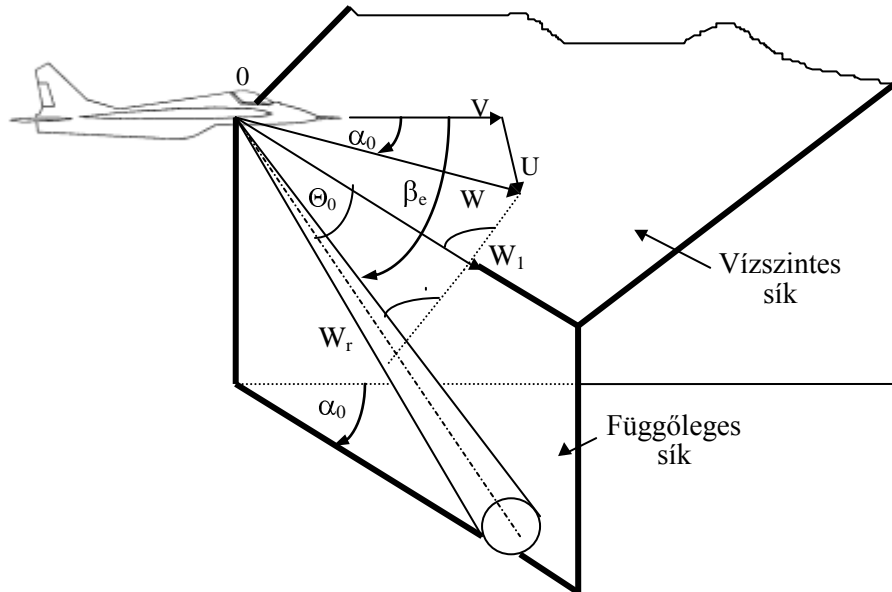


8. ábra. A nyaláb vetülete a vízszintes síkra

A rádiólokátor antennájának nyalábja a \vec{V} vektor irányától elfordulhat α_0 szöggel és a föld felszínéhez vagy a vízszintes síkhoz képest eltérhet Θ_0 szögre. Az α_0 szöget a vízszintes síkban a \vec{V} vektor vagy annak vetületével és a nyaláb tengelyének a vízszintes síkra eső vetülete között mérjük. A Θ_0 a függőleges síkban a horizont vonal és a nyaláb tengelye között értjük (9. ábra).

Az útsebesség összetevője a nyaláb tengelyének irányában:

$$W_r = W_1 \cos \Theta_0 = W \cos(\alpha_0 - \beta_e) \cos \Theta_0 \quad (14)$$



9. ábra. A Doppler-mérő nyalábjának térbeli helyzete

Ezért a Doppler frekvencia

$$F_D = \frac{2W}{\lambda} \cos(\alpha_0 - \beta_e) \cos \Theta_0 \quad (15)$$

A mérő áramkörében U_D feszültség generálódik, amely a Doppler frekvenciával arányos

$$U_D = kF_D = k \frac{2W}{\lambda} \cos(\alpha_0 - \beta_e) \cos \Theta_0 \quad (16)$$

Ha az antennát a vízszintes síkban elfordítjuk a függőleges tengely körül, akkor $\alpha_0 = \beta_e$ esetén megkaphatjuk az eltolt maximális Doppler frekvenciát:

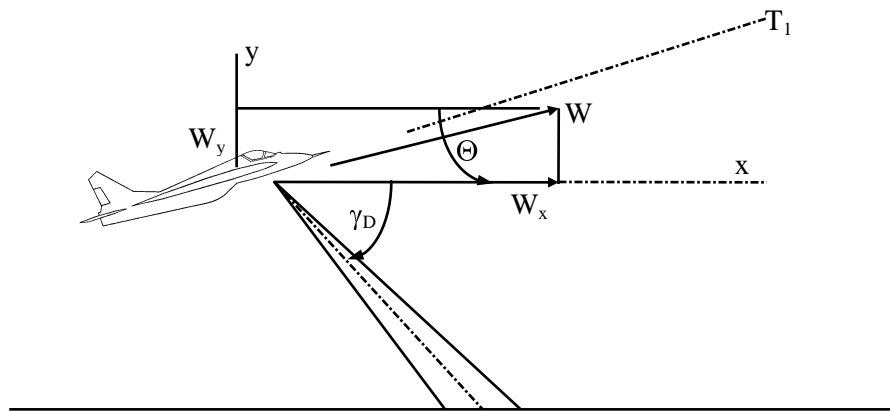
$$F_{D_{\max.}} = \frac{2W}{\lambda} \cos \Theta_0 \quad (17)$$

Amikor a függőleges sík, amely a nyaláb tengelyén átmegy, egybeesik a W útsebesség irányával, a Θ_0 hajlás szög egyenlő γ_D szöggel, ezért

$$F_{D_{\max.}} = \frac{2W}{\lambda} \cos \gamma_D \quad (18)$$

A γ_D szög mindig ismert. Az útsebesség értéke az F_D Doppler frekvencia értéke alapján határozható meg. Az antenna elfordulási szögének α_0 értéke alapján az $F_D = F_{D_{\max.}}$ értékéből állapítható meg a β_e szög.

Ha a \overline{W} vektor elhajlik a vízszintes síktól (10. ábra), akkor fellehet bontani egy vízszintes \overline{W}_x és egy függőleges \overline{W}_y összetevőkre.



10. ábra. Az útebesség vektor felbontása vízszintes és függőleges irányú összetevőre

A repülőgép megtett útjának számításához tudni kell a \overline{W}_x értékét. A függőleges összetevő \overline{W}_y a \overline{W}_x mérésében hibát okoz. Ezért az útebességek mérése hibával történik. Ennek a hibának a kiküszöbölésére a repülőgép függőleges sebességét a variométer segítségével mérik. A soknyalábos Doppler mérőkben a \overline{W}_y függőleges összetevő hibáját automatikusan kiküszöbölik.

Mivel a Doppler állomások a repülés sebességét a földi berendezések nélkül mérik, a Doppler-elvű útszámítás a navigációs módszereken belül autonómnak számít. A sebesség mérésnek doppleri pontossága a 0,1—0,3%-át éri el a W -nek, ami jelentősen meghaladja a valódi sebesség mérési pontosságát. Figyelembe kell venni, hogy a repülési magasság növelésével, a doppleri rádiólokációs rendszerek teljesítmény-felvétele növekszik. A víz feletti repüléseknél a doppleri sebességmérés pontossága csökken.

A csillagászati navigációra alkalmazni lehet a doppleri sebességmérést az égitestektől kapott jelek alapján. Ha a repülőgép az égitesthez képest W_K sebességgel mozog, akkor a vett fény $\Delta \mathcal{G}$ frekvencia változása.

$$\frac{\Delta \mathcal{G}}{\mathcal{G}_0} = \frac{W_K}{c} \quad (19)$$

ahol:

\mathcal{G}_0 — sugárzási frekvencia

c — fénysebesség

A $\Delta \mathcal{G}$ mérése spektrográf (spektrumanalizátor) segítségével történik.

A Doppler frekvencia megértésére egyszerűbb módszer is alkalmazható, ugyanis ha a visszavert és közvetlen jel a radarnál fázisban adódik össze, tehát maximuma van, akkor a céltárgyat (például a földet) 1/2 hullámmal közelebb hozva (vagyis a repülőgép 1/2 hullámhossznyi elmozdul) újból ma-

ximumot kapunk és ez minden fél hullámhossznál ismétlődik. A Doppler frekvencia tehát annyi lesz, ahány félhullámhossznyi utat tesz meg a repülőgép másodpercenként. A polgári fedélzeti Doppler berendezések adó frekvenciáját úgy választják meg, hogy könnyen mérhető hangfrekvenciás sávba essék a repülőgép föld feletti sebességtartománya. A frekvencia nagyságának (a hullámhossz további rövidítésének) a légkör illetve a csapadék csillapítása szab határt.

Inerciális elvű helymeghatározás

A repülőgép az erők halmazának hatása alapján mozog, amelyeket két típusra bonthatjuk:

- aktív erőkre (a hajtómű vonóereje, az atmoszféra ellenállása stb.);
- gravitációs eredetű erőkre (az általános tömegvonzás erői).

A repülőgépre ható erők által létrehozott gyorsulásokat a navigációs koordináta rendszer tengelyei mentén elhelyezett axelerométerekkel (gyorsulásmérők) mérik. A gravitációs gyorsulásokat nem mérik axelerométerekkel. Az axelerométerek tengelyeinek érzékenységét a navigációs koordináta rendszerek $0XYZ$ tengelyeinek irányába állítják be.

A helymeghatározás a repülőgép abszolút gyorsulásainak stabilizált alapra szerelt gyorsulásmérőkkel való mérésén, majd ezt követően a gyorsulások integrálásán alapszik a repülőgép abszolút repülési sebessége összetevőinek meghatározásához.

Az axelerométerek beállítására különböző pörgettyűs és csillagászati stabilizátorokat alkalmaznak. Ha az a_x, a_y, a_z — a navigációs koordináta rendszerek tengelyei mentén mért abszolút gyorsulások összetevői, akkor ezen összetevők egyszeri és kétszeri idő szerinti integrálása, a gravitációs gyorsulások és kezdeti feltételek figyelembevételével V_x, V_y, V_z a repülési sebesség összetevőit és az X, Y, Z pedig a helymeghatározás koordinátáit adja.

$$\begin{aligned} V_x &= V_{x0} + \int_0^t (a_x + g_x) dt \\ V_y &= V_{y0} + \int_0^t (a_y + g_y) dt \\ V_z &= V_{z0} + \int_0^t (a_z + g_z) dt \end{aligned} \quad (20)$$

Ahol:

g_x, g_y, g_z — a tengelyek mentén ható gravitációs gyorsulások, amelyeket az inerciális rendszerbe vezetünk be

V_{x0}, V_{y0}, V_{z0} — kezdeti sebességek

X_0, Y_0, Z_0 — kezdeti koordináták

A sebesség összetevőket ismét integrálva és a kezdeti koordináta értékeket (induló pont koordinátáit) figyelembe vesszük, akkor megkapjuk a repülőgép tartózkodási helyének koordinátáit.

$$\begin{aligned}
X &= X_0 + \int_0^t V_x dt \\
Y &= Y_0 + \int_0^t V_y dt \\
Z &= Z_0 + \int_0^t V_z dt
\end{aligned}
\tag{21}$$

A megvizsgáltakból következik, hogy az inerciális rendszer a repülés sebességét és a helymeghatározás koordinátáit határozza meg az inerciális térhez képest (innen ered az útszámítás módszereinek elnevezése). Ahhoz, hogy megmérjük a navigációs paramétereket a Föld felszínéhez képest, az inerciális rendszerekben a Föld napi forgását vesszük figyelembe.

Az inerciális elvű helymeghatározás abszolút autonóm mint navigációs módszer és az aktív erők által létrehozott gyorsulások méréséhez tartozik. A gravitációs gyorsulások figyelembe vétele ismert problémákhoz vezet. Az objektumokon (tengeralattjáró, hajók, repülőgépek), amelyeknek a Föld közepéig mért távolsága jelentéktelen mértékben változik és a gravitációs gyorsulást állandó értéknek vesszük. Az útszámítást a vízszintes síkban hajtják végre a gravitációs gyorsulás vektorára merőlegesen. A kozmikus repülőszervezeteken a gravitációs gyorsulás vektorát kívülről adják meg vagy az inerciális rendszer mérései által a helymeghatározás koordinátaival (zárt rendszerű mérés).

Az autonomitáson kívül az inerciális rendszerek egyéb más előnyökkel is rendelkeznek: az útszámítás a Föld illetve a kozmikus tér bármely körzetében (térségében) történhet, az év bármely napján és időben, a gyorsulás és repülési sebesség korlátozása nélkül.

A navigációs paraméterek pontossága függ az alkatrészek — axelerométerek, pörgettyűk, számítógépek és más elemek — minőségétől. Az inerciális útszámítás hibái az idővel felhalmozódnak. Némely jó minőségű inerciális rendszerrel az útszámítás hibája (radiális mértani középérték hiba) eléri az 1—3 km-t egy órás repülés alatt. Hosszú idejű repülések esetén az inerciális rendszert helyesbíteni kell a felhalmozódott hibák miatt.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Békési Bertold A navigációs feladatok megoldási lehetőségei az ortodromikus koordináta rendszerben Repüléstudományi és Képzési Közlemények, Szolnok, 1996/3 (23-53old.)
- [2] Rádió és elektronikus léginavigáció LRI Repülésoktatási központ, 1987.